

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

## **Ekologizace teplárny Vítkovice**

### Ecologisation of the Vítkovice Heating Plant

Student: Štěpán Zeman

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Stanislav Honus, Ph.D.

Ostrava 2019

# Zadání bakalářské práce

Student: **Štěpán Zeman**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 3907R009 Provoz energetických zařízení  
Téma: **Ekologizace teplárny Vítkovice**  
**Ecologisation of the Vítkovice Heating Plant**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Popište současný stav Teplárny Vítkovice (se zaměřením na uhelné kotle).
2. Navrhněte ekologizaci teplárny výměnou uhelných kotlů za kotle plynové a kogenerační jednotky.
3. Vypočítejte produkci emisí z jednotlivých technologií a výsledky porovnejte.
4. Odvoďte patřičné závěry a doporučení.

Seznam doporučené odborné literatury:


KRBK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. *Malé kogenerační jednotky v komunální a průmyslové energetice*. Brno: PC-DIR Real, 1999. ISBN 80-85895-23-4.  
NOSKIEVIČ, Pavel. *Spalování uhlí*. 2. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2002. ISBN 80-248-0204-X.  
KADRNOŽKA, Jaroslav a Ladislav OCHRANA. *Teplárenství*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. ISBN 80-7204-222-X.  
IBLER, Zbyněk. *Technický průvodce energetika. 1. díl*. Praha: BEN - technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-026-1.  
IBLER, Zbyněk. *Technický průvodce energetika. 2. díl, Energetika v příkladech*. Praha: BEN - technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-097-0.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Stanislav Honus, Ph.D.**

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019

  
doc. Ing. Stanislav Honus, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

#### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použil interní údaje o technických parametrech tepelných zařízení získaných od firmy ČEZ, a.s., firma s jejich zveřejněním souhlasí.

V Ostravě dne 20. května 2019.



.....  
Podpis studenta

Prohlášení spolupracující osoby

Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 6, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských\* studijních programech VŠB-TU Ostrava.

Spolupracující osoba\*\*):

ČEZ Energetické služby, s.r.o., člen ČEZ ESCO

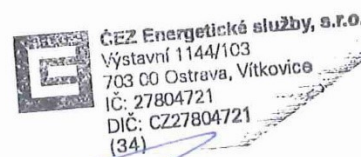
Výstavní 1144/103,

703 00 Ostrava - Vítkovice

Jméno a příjmení oprávněné osoby:

Ing. Pavel Friedel

V Ostravě dne 20. května 2019.



Podpis oprávněné osoby

(případně razítko)

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на ве́домі́, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 20. května 2019.



.....  
Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Štěpán Zeman

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Zemanky 1241, 756 54 Zubří

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ZEMAN, Š. *Ekologizace teplárny Vítkovice: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2019, 57 s. Vedoucí práce: Honus, S.

Bakalářská práce se zabývá ekologizací teplárny Vítkovice. V úvodní části jsou z obecného hlediska popsány uhelné kotle, plynové kotle a také kogenerační jednotky. Dále je popsána konkrétní situace před ekologizací teplárny, zejména z hlediska stávajících uhelných kotlů sloužících k výrobě páry, a následně po ekologizaci, kde je pozornost zaměřena na nově instalované plynové kotle a kogenerační jednotky. V práci je obsažena metodika stanovení produkce emisí z původních uhelných zdrojů a nových zdrojů plynových včetně následného srovnání a diskuze výsledných hodnot.

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

ZEMAN, Š.: *Ecologisation of the Vítkovice Heating Plant: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering, 2019, 57 p. Thesis head: Honus, S.

Bachelor thesis is dealing with ecologization of the Vítkovice Heating Plant. Coal boilers, gas boilers and cogeneration units are generally described in the introductory part. Further is described concrete situation before ecologization particularly in terms of existing coal boilers that serve for steam production. Then is described situation after ecologization with attention focused on newly installed gas boilers and cogeneration units. Method of determination of emission production from former coal supply and new gas supply, subsequent comparison and discussion of the resulting values are contained in this thesis.

# Obsah

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Seznam použitých veličin, zkratk, symbolů a jednotek.....</b>  | <b>9</b>  |
| <b>1 Úvod .....</b>   | <b>11</b> |
| <b>2 Uhlé kotle.....</b>  | <b>12</b> |
| 2.1 Části kotle.....  | 12        |
| 2.1.1 Ohřívák vody (ekonomizér) .....                             | 12        |
| 2.1.2 Výparník s přirozenou cirkulací vody .....                  | 13        |
| 2.1.3 Přehřívák páry .....  | 13        |
| 2.1.4 Ohřívák vzduchu.....  | 14        |
| 2.2 Rozdělení kotlů.....  | 14        |
| 2.3 Základní parametry kotlů .....                                | 15        |
| 2.4 Roštová ohniště.....  | 15        |
| 2.5 Fluidní ohniště .....   | 17        |
| 2.5.1 Stacionární fluidní kotle .....                             | 18        |
| 2.5.2 Cirkulující fluidní kotle.....                              | 18        |
| 2.6 Práškové kotle .....  | 19        |
| 2.6.1 Práškové kotle s granulačním ohništěm .....                 | 19        |
| 2.6.2 Práškové kotle s výtavným ohništěm.....                     | 20        |
| <b>3 Plynové kotle .....</b>                                      | <b>21</b> |
| 3.1 Rozdělení plynových kotlů .....                               | 22        |
| 3.2 Palivové hospodářství .....                                   | 23        |
| <b>4 Kogenerační jednotky .....</b>                               | <b>24</b> |
| 4.1 Rozdělení kogeneračních jednotek.....                         | 24        |
| 4.1.1 Kogenerační jednotky s plynovými spalovacími motory.....    | 24        |
| 4.1.2 Kogenerační jednotky s plynovými spalovacími turbínami..... | 25        |
| 4.1.3 Kogenerační jednotky s parními turbínami.....               | 25        |
| 4.2 Kogenerační jednotky s paroplynovým cyklem .....              | 25        |
| <b>5 Popis teplárny Vítkovice .....</b>                           | <b>26</b> |
| 5.1 Popis teplárny před ekologizací .....                         | 26        |
| 5.2 Teplárna Vítkovice po ekologizaci.....                        | 27        |
| <b>6 Plynové kotle v Teplárně Vítkovice.....</b>                  | <b>28</b> |
| 6.1 Kotel BOSCH UT-HZ 26000 .....                                 | 28        |
| 6.2 Spotřeba paliva .....   | 30        |
| <b>7 Kogenerační jednotky v Teplárně Vítkovice .....</b>          | <b>30</b> |
| 7.1 Kogenerační jednotka TEDOM Quanto D1200 .....                 | 31        |
| 7.1.1 Spotřeba paliva .....                                       | 32        |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>8</b>  | <b>Spalování paliv .....</b>   | <b>32</b> |
| 8.1       | Spalovací reakce.....  | 33        |
| 8.2       | Emise při spalování fosilních paliv.....                                     | 33        |
| 8.2.1     | Tvorba oxidů síry .....  | 33        |
| 8.2.2     | Tvorba oxidů dusíku .....  | 33        |
| 8.2.3     | Tvorba emisí CO <sub>2</sub> a CO .....                                      | 34        |
| 8.2.4     | Emise tuhých částic .....  | 34        |
| 8.2.5     | Jiné plynné emise .....  | 34        |
| 8.3       | Spalování tuhých a kapalných paliv .....                                     | 34        |
| 8.4       | Spalovací rovnice pro tuhá a kapalná paliva .....                            | 35        |
| 8.4.1     | Výpočet množství spalovacího vzduchu a spalin spalováním uhlí .....          | 36        |
| 8.5       | Spalování plynných paliv .....   | 41        |
| 8.6       | Výpočet množství spalovacího vzduchu a spalin spalováním zemního plynu ..... | 42        |
| 8.6.1     | Přepočet koncentrací spalin.....   | 45        |
| <b>9</b>  | <b>Porovnání emisí z uhelných a plynových zdrojů .....</b>                   | <b>47</b> |
| 9.1       | Roční spotřeba černého uhlí: .....   | 47        |
| 9.2       | Roční spotřeba zemního plynu.....  | 48        |
| 9.3       | Roční produkce emisí .....   | 48        |
| 9.4       | Ekonomické porovnání emisí .....   | 50        |
| <b>10</b> | <b>Závěr.....</b>  | <b>52</b> |
| <b>11</b> | <b>Seznam použité literatury .....</b>                                       | <b>54</b> |
|           | <b>Seznam tabulek, grafů a obrázků .....</b>                                 | <b>57</b> |
|           | Seznam tabulek .....   | 57        |
|           | Seznam grafů.....  | 57        |
|           | Seznam obrázků .....   | 57        |



## Seznam použitých veličin, zkratek, symbolů a jednotek

| Značka                       | Veličina  | Jednotka   |
|------------------------------|---|--|
| TZL                          | tuhé znečišťující látky   | $\left[ \frac{\text{mg}}{\text{m}_\text{N}^3} \right]$                               |
| w                            | voda obsažená v palivu  | $[-]; [\%]$  |
| h                            | hořlavina   | $[-]; [\%]$  |
| A                            | popelovina  | $[-]; [\%]$  |
| $V_{\text{O}_2; \text{t}}$   | teoretický objem kyslíku  | $\left[ \frac{\text{m}_\text{N}^3 \text{O}_2}{\text{kg}_\text{pal}} \right]$         |
| $V_{\text{vz}; \text{t}}^s$  | teoretický objem suchého vzduchu  | $\left[ \frac{\text{m}_\text{N}^3 \text{vz}}{\text{kg}_\text{pal}} \right]$          |
| $V_{\text{vz}; \text{sk}}^s$ | skutečný objem suchého vzduchu  | $\left[ \frac{\text{m}_\text{N}^3 \text{vz}}{\text{kg}_\text{pal}} \right]$          |
| n                            | součinitel přebytku vzduchu   | $[-]$  |
| $V_{\text{vz}; \text{sk}}^v$ | skutečný objem vlhkého vzduchu  | $\left[ \frac{\text{m}_\text{N}^3 \text{vz}}{\text{kg}_\text{pal}} \right]$          |
| v                            | součinitel poměrného zvětšení objemu vlhkého vzduchu oproti vzduchu suchému | $[-]$  |
| $V_{\text{sp}; \text{t}}^s$  | teoretický objem suchých spalin   | $\left[ \frac{\text{m}_\text{N}^3 \text{sp}}{\text{kg}_\text{pal}} \right]$          |
| $V_{\text{sp}; \text{sk}}^s$ | skutečný objem suchých spalin   | $\left[ \frac{\text{m}_\text{N}^3 \text{sp}}{\text{kg}_\text{pal}} \right]$          |
| $V_{\text{H}_2\text{O}}$     | objem vodní páry  | $\left[ \frac{\text{m}_\text{N}^3 \text{H}_2\text{O}}{\text{kg}_\text{pal}} \right]$ |
| $V_{\text{sp}; \text{sk}}^v$ | skutečný objem vlhkých spalin   | $\left[ \frac{\text{m}_\text{N}^3 \text{sp}}{\text{kg}_\text{pal}} \right]$          |
| $M_{\text{CO}}$              | emisní faktor oxidu uhelnatého  | $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{t}} \right]$  |

|                 |   |                                   |
|-----------------|---|-----------------------------------|
| $E_{CO}$        | emise oxidu uhelnatého                    | $\left[ \frac{mg}{m_N^3} \right]$ |
| $M_{NO_x}$      | emisní faktor oxidů dusíku                | $\left[ \frac{kg}{t} \right]$     |
| $E_{NO_x}$      | emise oxidů dusíku                        | $\left[ \frac{mg}{m_N^3} \right]$ |
| $M_{SO_2}$      | emisní faktor oxidu siřičitého            | $\left[ \frac{kg}{t} \right]$     |
| $E_{SO_2}$      | emise oxidu siřičitého                    | $\left[ \frac{mg}{m_N^3} \right]$ |
| $M_{TZL}$       | emisní faktor tuhých znečišťujících látek | $\left[ \frac{kg}{t} \right]$     |
| $E_{TZL}$       | emise tuhých znečišťujících látek         | $\left[ \frac{mg}{m_N^3} \right]$ |
| $Q_{rok}$       | roční spotřeba energie                    | [GJ]                              |
| $Q_i$           | výhřevnost                                | $\left[ \frac{MJ}{kg} \right]$    |
| $m_{rok}$       | hmotnost za rok                           | [kg]                              |
| $V_{rok}$       | objem za rok                              | [m <sup>3</sup> ]                 |
| $E_{CO;rok}$    | roční emise oxidu uhelnatého              | $\left[ \frac{t}{rok} \right]$    |
| $Náklady_{ECO}$ | roční náklady na emise oxidu uhelnatého   | [EUR]                             |

# 1 Úvod

Bakalářská práce se zaměřuje na ekologizaci Teplárny Ostrava – Vítkovice, a to zejména z hlediska srovnání původního a současného stavu produkce emisí. Teplárna slouží k výrobě elektřiny a k dodávce tepla pro železárny Vítkovice, Vítkovickou nemocnici, obytné budovy a další areály. Historie Teplárny Vítkovice sahá až do roku 1912, kdy si rychlý rozvoj válcoven a oceláren ve Vítkovických železárnách vyžádal potřebu velkého množství všech druhů energií. Z tohoto důvodu vznikl závod Elektrárna, ve kterém byly soustředěny veškeré energetické zdroje podniku. Součástí železáren byl tento energetický zdroj až do roku 200, kdy se provozovatelem stala společnost Energetika Vítkovice, a.s. V roce 2007 se jediným akcionářem stala společnost ČEZ. Z důvodu zpřísnění emisních limitů pro rok 2020 proběhla v roce 2018 rekonstrukce celé teplárny včetně demontáže uhelných kotlů. Původní kotle byly nahrazeny kotly plynovými a kogeneračními jednotkami.

V teoretické části je pozornost zaměřena na původní uhelné kotle a dále na stávající plynové kotle a kogenerační jednotky, které je nahradily. Uhlenné kotle jsou v této práci popsány obecně včetně jejich jednotlivých částí a se zaměřením na jejich rozdělení, základní parametry a jednotlivé typy ohnišť. Po obecném popisu plynových kotlů a kogeneračních jednotek se bakalářská práce věnuje situaci před a po ekologizaci teplárny a konkrétním typům plynových kotlů a kogeneračních jednotek. Práce také popisuje proces spalování paliv, spalovací reakce a tvorbu emisí při spalování fosilních paliv.

V praktické části se práce zabývá stanovením produkce emisí z původních uhelných zdrojů a nových plynových zdrojů. V práci je vypočteno množství spalovacího vzduchu a vzniklých spalin ze spalování uhlí i zemního plynu. Výpočet je dále proveden pomocí emisních faktorů spalovacích zdrojů. Emisním faktorem se rozumí střední měrná výrobní emise dané znečišťující látky. Výsledné hodnoty jsou následně porovnány a odvozen patřičný závěr.

## 2 Uhelné kotle

Kotel je soubor energetických zařízení konstrukčně sestavených v jeden celek s cílem přeměny chemické energie paliva na tepelnou energii spalin a k následujícímu přenosu tepla spalin do pracovního média, za což se považuje voda nebo pára. [1]

Kotle se rozdělují dle účelu na parní, horkovodní a teplovodní. Parní kotel slouží k výrobě páry o tlaku vyšším, než je atmosférický tlak. Horkovodní kotle vyrábějí vodu o teplotě vyšší než 115 °C a tlaku vyšším než 0,17 MPa. Teplovodním kotlem je pak nazýván kotel, u kterého je teplota ohřáté vody nižší než 115 °C. Velikost tlaku páry či vody je úměrná účelu, k němuž se využívá. Páru, nebo horkou vodu produkujeme pro otopné, technologické, případně energetické účely. [1]

### 2.1 Části kotle

Mezi hlavní části kotle patří: tlakový systém, topeniště, spalovací zařízení a vzduchový trakt. Tlakový systém je tvořen ohřívákem vody (ekonomizérem), výparníkem, přehřívákem a mezipřehřívákem (přihřívákem). Topeništěm se rozumí prostor, kde se uskutečňuje proces spalování, dochází k uvolňování tepla, které se předává výhřevným plochám. Je tvořeno ohništěm a kotlovými tahy. Spalovací zařízení jsou zařízení sloužící ke spalování paliva jako hořáky nebo rošt. Vzduchový trakt připravuje a distribuuje vzduch ke spalování (ventilátory, ohříváky vzduchu). [2]

Tlakový výměník tepla se u parních kotlů nazývá parní generátor, zatímco u kotlů horkovodních a teplovodních se jedná pouze o ohřívák vody. [2]

Běžně se teplosměnné plochy řadí ve směru toku spalina jako: výparník, přehřívák, ekonomizér, ohřívák vzduchu. Ve směru toku páry, či vody jako ekonomizér, výparník, přehřívák. [2]

#### 2.1.1 Ohřívák vody (ekonomizér)

Ohřívák vody byl zaveden z důvodu zvýšení účinnosti kotle, kdy snižuje teplotu spalin a tím i komínovou ztrátu. Ohřívák vody je lokalizován jako předposlední teplosměnná plocha v kotli, umísťuje se do druhého tahu za přehřívák a před ohřívák vzduchu. Slouží

k předeřevu na žádanou teplotu, s kterou vstupuje do parního bubnu u cirkulačních oběhů a u průtočných kotlů přímo do membránových stěn výparníku. [1, 3]

První typy byly vyrobeny z litiny, v současné době se používá ohřívák vody svařovaný z ocelových trubkových hadů. Uspořádání je buď přesazené, kde mají lepší přestup tepla, ale vyšší tlakovou ztrátu a vyšší abrazi, nebo tzv. za sebou, kde je menší tlaková ztráta, ale také menší přestup tepla. [1, 3]

Pokud se zde voda i odpařuje, označuje se jako odpařovací ekonomizér. U bubnového kotle s přirozenou cirkulací není ohřívák vody nutný, jelikož se napájecí voda může přivádět přímo do bubnu kotle. [1, 3]

### **2.1.2 Výparník s přirozenou cirkulací vody**

Výparník je výměník tepla, v němž se vyrábí sytá pára pomocí tepla přiváděného v palivu. Výparník klasického parního kotle je proveden jako plynotěsné membránové stěny spalovací komory z vertikálních trubek. Tyto varnice se spolu se zavodňovacími a vyváděcími trubkami a příslušnými komorami spojují v bubnu. Do bubnu se přivádí voda z ekonomizéru, a odvádí se z něj odluh a z jeho horní části sytá pára. Buben je opatřen vhodným konstrukčním řešením pro odloučení syté páry od vody. Potřebná zásoba vody v kotli se jednoduše udržuje konstantní hladinou vody v bubnu.

Přirozená cirkulace se zajišťuje rozdílnou hustotou vody a parovodní směsí v systému výparníků. Přirozená cirkulace probíhá do cca 17 MPa. [1, 4]

### **2.1.3 Přehřívák páry**

Přehřívák páry je teplosměnná plocha umístěna v nejvyšších teplotách a pomocí tepla spalín ohřívá sytou páru vyrobenou ve výparníku na příslušnou teplotu. Skládá se z trubkových hadů a je rozdělen na několik částí (2-5 dle parametrů páry). Při vysokých parametrech je kladen nárok na dodržení teploty výstupní páry kvůli turbíně a citlivosti legovaných ocelí na rychlé změny teploty. Přehřívákové trubky tedy musí být vyrobeny z žárovevých ocelí, což zapříčiňuje vysokou cenu. [2, 4]

## 2.1.4 Ohřívák vzduchu

Ohřívák vzduchu je poslední teplosměnnou plochou v kotli, která se používá k ohřevu spalovacího vzduchu pomocí spalin. Využívá se nízkopotenciálního tepla spalin na výstupu z kotle, s čímž současně klesá teplota spalin a tím i komínová ztráta a zvyšuje se účinnost. Ohřátý vzduch slouží k sušení tuhých paliv, zlepšení vzněcování paliva, zvýšení spalovací teploty v ohništi.

Podle způsobu přenosu tepla se dělí na:

- Rekuperační – teplo se sdílí přes stěnu, která odděluje obě média. Jsou více těsné, ale citlivé na zanášení. Větší obestavěný prostor a větší hmotnost. Typy- trubkové, deskové a litinové.
- Regenerační – teplo se přenáší prostřednictvím akumulčního prvku, který je střídavě ohříván spalinami a ochlazován vzduchem. Výhodou je menší hmotnost a obestavěný prostor a nejsou tolik citlivé na zanášení. Nevýhodou je netěsnost a dochází k přisávání. U parních kotlů se nejčastěji používají rotační ohříváky typu Ljungström. [1-2, 4]

## 2.2 Rozdělení kotlů

Existuje mnoho způsobů rozdělení kotlů. Uvádím základní možnosti rozdělení kotlů.

- Podle použitého paliva se kotle dělí: na paliva tuhá, na paliva kapalná a na paliva plynná.
- Podle přetlaku páry na výstupu se kotle dělí na: nízkotlaké ( $0 \div 0,05$  MPa), středotlaké ( $0,05 \div 1,6$  MPa), vysokotlaké ( $1,6 \div 16$  MPa), velmi vysokotlaké (16 MPa a více).
- Podle typu spalovacího zařízení se kotle dělí na: roštové, práškové (granulační nebo výtavné), fluidní, cyklónové.
- Podle konstrukce výparníku se kotle dělí na: plamencové, žárotrubné, s přirozeným oběhem, nuceným oběhem, průtočné.
- Podle tlaku spalin v ohništi se kotle dělí na: s ohništěm podtlakovým, s ohništěm přetlakovým a s ohništěm vysoce přetlakovým.

- Podle účelu se kotle dělí na: elektrárenské, teplárenské, vytopenské. [5, 13]

## 2.3 Základní parametry kotlů

Každý parní kotel je charakterizován souborem určitých údajů. Doporučené základní parametry páry a výkonnosti parních kotlů jsou definovány dle ČSN 070010.

- **Jmenovitý tepelný výkon kotle** [t/h] je výkon uvažovaný na výstupu z kotle, který musí kotel neustále dodávat při dodržení jmenovitých hodnot základních parametrů.
- **Jmenovitý tlak přehřáté páry** [MPa] je tlak páry měřící se na výstupu z kotle nebo u hlavního parního uzávěru. Udržuje se konstantní s výjimkou najíždění a odstavování kotle.
- **Jmenovitá teplota přehřáté páry** [°C] je teplota páry na výstupu z kotle a je udržována během provozu v předepsaných tolerancích. Měří se na stejném místě jako jmenovitý tlak přehřáté páry.
- **Jmenovitá teplota přehřáté páry** [°C] je teplota, která se měří na výstupu z přehříváku.
- **Jmenovitá teplota napájecí vody** [°C] je teplota napájecí vody, která se měří před napájecí hlavou při jmenovitém výkonu kotle. [1]

## 2.4 Roštová ohniště

Historicky prvním typem průmyslového ohniště je roštové ohniště. Jedná se o základní a nejjednodušší způsob spalování tuhých paliv. Palivo se spaluje kusové a v průběhu tohoto spalování vyhořívá ve vrstvě, jejíž tloušťka je závislá na tepelném výkonu ohniště a prodyšnosti vrstvy pro spalovací vzduch. Granulometrie paliva je větší než 10 mm. [4-5]

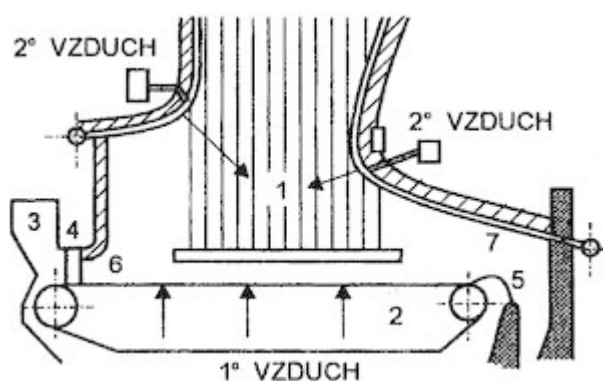
Rošt může být pevný, nebo mechanický. Mechanicky poháněné rošty jsou: pásové, přesuvné, stupňové a řetězové. Pro rozptýlení paliva na roštu slouží tzv. pohazovač. Ty se dělí na pneumatické a mechanické. U pneumatických pohazovačů větší částice dopadají blíže k pohazovači a menší směrem ke konci roštu, přičemž směr pohybu roštu je

od pohazovače. Mechanické pohazovače pohodí větší kusy dále a menší blíže, pohyb roštu je proti pohazovači. [4-5]

V současnosti se roštové kotle staví především pro spalování biomasy a komunálních a průmyslových odpadů. Spalování komunálních odpadů probíhá v rotační peci. Pro spalování uhlí pro energetické účely se roštové ohniště již téměř nekonstruuje, ale jsou stále v provozu. Mezi hlavní části roštového ohniště patří:

- spalovací prostor, který je omezen stěnami, přední a zadní klenbou,
- rošt s palivovou násypkou,
- palivové hradítko,
- škvárový jízek,
- škvárová výsypka,
- zařízení pro přívod a regulaci vzduchu. [1, 3-4]

Rošt je složen z nosné konstrukce a roštnic. Pohyb mechanicky poháněných roštů zajišťuje hnací zařízení. Rošt slouží jako podpora spalovaného paliva a umožňuje vytvářet vrstvu potřebných parametrů prodyšnosti a tloušťky. Dále musí rošt zaručit spalování při požadovaném přebytku vzduchu a zajistit postupný průchod paliva fázemi vysušení, zapálení prchavé hořlaviny, zapálení fixní hořlaviny, hoření a dohořívání, kdy první tři zmíněné fáze potřebují přívod tepla. Další funkce roštu je shromáždění tuhých zbytků po spálení, které se nazývají škvára, a měnit výkon kotle. [3-6]



**Obrázek 2.4 Schéma roštového ohniště [6]**

- 1 – ohniště
- 2 – rošt
- 3 – zásobník



- 4 – hradítko
- 5 - škvárový jízec
- 6 – přední klenba
- 7 – zadní klenba

Výhodami roštového ohniště je velký regulační rozsah, jednoduchá obsluha a jednoduché najíždění. Nevýhodou hlavně u kotlů větších výkonů bývá vysoká koncentrace emisí oxidu dusíku  $NO_x$  ve spalínách. [3-6]

## 2.5 Fluidní ohniště

Perspektivnějším řešením kotlů se stalo fluidní spalování. Fluidizace je obecně děj, při kterém nabývá směs pevné látky a plynu vlastnosti tekutiny. Fluidní vrstva je proudem tekutiny vytvořená suspenze částic, jejichž povrch je v kontaktu s tekutinou a dochází ke zintenzivnění termických procesů jako sdílení tepla, sušení částic. Fluidní vrstva vzniká v okamžiku rovnováhy tíhy a aerodynamického odporu různě velkých částic. [7]

Ve fluidních ohništích jsou částčky paliva a popílku udržovány ve vznosu proudem vzduchu a spalin svisle vzhůru. Do fluidní vrstvy je přiváděno palivo, které většinou nepřesahuje 2 – 3% hmotnosti fluidní vrstvy. Zbylých 97-98% hmotnosti tvoří odsiřovací aditivum (většinou vápenec) a inertní materiál - popel z paliva, nebo křemenný písek, či keramzit, který je vzduchovými tryskami uveden do tekutého (fluidního) stavu. [4-6]

Fluidní ohniště má zpravidla nálevkovitý tvar. Zvětšování průtočného průřezu ohniště zapříčiňuje postupné snížení rychlosti spalin tak, aby mohla nastat rovnováha mezi tíhou a aerodynamickým odporem různě velkých částic. Do spodní části ohniště se přivádí palivo šnekovým nebo pneumatickým podavačem. Částice paliva se rozvrství do odlišných výšek na základě jejich velikosti a víří se kolem jejich rovnovážné polohy. Vlivem gravitace se větší částice spalují v dolní části, kde proudí vzduch vyšší rychlostí, naopak menší částčky se spalují ve vyšší, rozšířené části ohniště. [4-6]

Výhodami fluidních kotlů je nízká spalovací teplota přibližně 800 – 900 °C a nízké spaliny oxidu dusíku  $NO_x$ . Nízká teplota spalování je zapříčiněna umístěním části výhřevné plochy do fluidní vrstvy. I přes nízkou spalovací teplotu probíhá spalování intenzivně. Další výhodou je, že na trubkách výhřevných kotlů nemohou vznikat nánosy a na dodatkových

plochách jsou nánosy snadněji odstranitelné, než u jiných typů kotlů. Náklady na mletí paliva nejsou tak vysoké, jelikož se spaluje palivo o průměrném zrnění 0 – 20 mm. Fluidní kotle dokáží spalovat i méně hodnotné paliva s vysokým obsahem síry. Odsíření se zvyšuje přívodem vápence do fluidní vrstvy a síra se společně s popelem odvádí ve formě sádry. Při nedostatku popeloviny v palivu, se popeloviny přidávají uměle, tak, aby vznikla fluidní vrstva. Tímto způsobem se mohou spalovat i kapalná a plynná paliva. [4-6]

Fluidní kotle můžeme dělit na atmosférické a přetlakové, se stacionární fluidní vrstvou a s cirkulující fluidní vrstvou, škvárující a neškvárující. [4-6]

### **2.5.1 Stacionární fluidní kotle**

Tento typ fluidních kotlů je charakterizován bublinkující fluidní vrstvou se zřetelnou hladinou. Fluidní vrstva se tvoří nad fluidním roštem, pod který se přivádí primární spalovací vzduch. Na hladinu fluidní vrstvy se dodává palivo a sekundární spalovací vzduch. Hladina fluidní vrstvy je jasně ohraničena a odchází z ní spaliny unášející popílek. Pevná část popeloviny odchází dle toho, zda-li se jedná o škvárující či neškvárující typ. Škvárující kotle mají teplotu spalin 900 - 1250 °C, což je teplota vyšší než je teplota měknutí popeloviny. Částice popela se spékají a vytvářejí větší kusy, které se ukládají na fluidním roštu a musí být odváděny. U neškvárujících kotlů je teplota spalin menší než teplota měknutí popeloviny, tudíž nedochází k měknutí popeloviny a pevná část se dá odpouštět ze dna či hladiny. Tento typ kotlů se dělí na:

- s odlučovačem popílku – z fluidní vrstvy odtéká spousta částic, které nestačí dohořet a úlet je odlučován a vrácen zpět na dohoření
- bez odlučovače popílku – popílek není vrácen zpět do ohniště. [1, 5]

### **2.5.2 Cirkulující fluidní kotle**

Principem těchto kotlů je cirkulace fluidní vrstvy, dochází k překročení stability fluidní vrstvy a ta prostupuje do cyklonu, kde se odstředivou silou odlučují tuhé částice. Tuhé částice se vrací zpět do fluidního ohniště a spaliny předají své teplo výhřevným plochám v tahu kotle. Výhodou je dlouhé setrvání částic ve spalovacím prostoru, což je předpoklad k největšímu vyhoření paliva. [3, 5]

## 2.6 Práškové kotle

Požadavky na větší jmenovité výkony kotlů vedly k rozvoji práškovým ohnišť. Dnes se jedná o nejčastěji používanou technologii pro největší výkony. V ohništi se spaluje jemně namleté palivo ve vznosu. Jemně namleté palivo má obrovský měrný povrch ( $400 - 1000 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ ) – asi 200x větší než u tříděného paliva spalovaného na roštu, spalování probíhá velice rychle a vyhoření má vysoký podíl. Práškové palivo se ze mlýnů pneumaticky přivádí do prostoru ohniště tryskami hořáků společně s primárním spalovacím vzduchem. Provedení rozmístění hořáků je různé. Jako nosného prostředí se využívá část spalovacího vzduchu, nebo kombinace vzduch-spaliny. Tato primární směs se v spalovacím prostoru směšuje s předehřátým sekundárním vzduchem. Pro dosažení dokonalého vyhoření je nutné, aby doba potřebná k dosažení dokonalého spálení částičky paliva byla kratší než doba pobytu částičky v ohništi. Černá uhlí se proto melou jemněji než více reaktivní hnědá uhlí. Rozměry zrna jsou nejčastěji 30-90  $\mu\text{m}$ . [4]

Příprava paliva je nákladnější než z roštových ohnišť. Palivo je připravováno buď systémem s přímým foukáním, systémem se zásobníkem prášku, nebo systémem s centrální mlýnicí. U systému s přímým foukáním se namletý prášek společně s brýdy (směs nosného média a velmi jemného uhelného prášku) fouká přímo z mlýnu do hořáku kotle. Druhý zmíněný systém odvádí namleté palivo společně s brýdy z mlýna do odlučovacího zařízení, kde se prášek odloučí a uskladní v zásobníku. Brýdy se při provozu kotle spalují v brýdovém hořáku. Poslední zmíněná varianta provádí mletí prášku v jednom místě, prášek je dopravován pneumaticky do centrálního zásobníku a poté dále do jednotlivých zásobníků hořáků kotle. [3, 4]

### 2.6.1 Práškové kotle s granulačním ohništěm

Tyto kotle patří mezi nejrozšířenější kotle pro spalování téměř všech druhů uhlí. Jejich tvar je svislý hranol. Charakterizuje jej typické zúžení spodní části ohniště – strusková výsypka. Ta je vytvořena zkosením stěn a umožňuje snadný odvod tuhých zbytků po spálení. Pod výsypkou zajišťuje odvod strusky odstruskovací zařízení. Tvar příčného řezu ohniště ovlivňuje využití stěn ohniště. Tepelné toky mnohoúhelníkového tvaru ohniště jsou rovnoměrnější než u čtvercového, či obdélníkového tvaru, kde v tepelný tok stěnou v rozích klesá. Dalším důležitým faktorem je rozmístění hořáků, z kterých se dnes využívají:

- ohniště s čelními hořáky,
- ohniště s tangenciálními hořáky,
- ohniště se stropními hořáky. [3, 4]

Pro zajištění provozu bez poruch je nutné udržet teplotu v ohništi nižší než 1100 až 1500 °C. Vyšší teploty by mohly zapříčinit nalepování změkklé strusky na stěny ohniště a následné zkracování provozní periody kotle. Snížení teploty se zajišťuje například použitím kovových, vodou chlazených stěn ohniště, nebo ohřívání spalovacího vzduchu na nižší teplotu, což závisí na kvalitě paliva. Nejčastěji se spaluje hnědé uhlí, či lignity a paliva se vyšším obsahem prchavého podílu. [3, 4]

Porovnáním s výtavnými ohništi je výhodou možnost udržovat malé minimální výkony a méně náročná regulace a lze spalovat hruběji namleté palivo, což šetří náklady na mlecí práce. Důsledkem hruběji namletého palivo je také i čistící účinek výhřevných ploch, kdy hrubší částice narušují nánosy na zmíněných plochách. Nevýhodou je problém s uskladněním popílku a nízká schopnost zachycení popela, který musí být zachycen v odlučovacích. [4]

## 2.6.2 Práškové kotle s výtavným ohništěm

Potíže se zastruskováním granulačního ohniště daly vzniknout ohništím výtavným. Palivo se zde spaluje při vyšších teplotách než je teplota tečení popele, popelovina se roztaví a odvádí se z ohniště v tekutém stavu. Konstrukce tohoto typu kotlů jsou jednoprostorové, nebo dvoupřestorové, kde je výtavná část oddělena od vychlázovací části struskovou mříží, nebo zúžením, což zapříčiňuje omezení výměny teploty mezi oběma prostory. Ve výtavné části dochází ke spalování uhlí a odvádění roztavené popeloviny, zatímco ve vychlázovací části jsou spaliny vychlazené pod teplotu měknutí popele, což neumožňuje zanášení teplosměnných ploch popílkem v dalších tazích kotle. Není zde strusková výsypka, ale vodorovné, nebo mírně skloněné dno s otvory pro výtok strusky do granulační nádrže naplněné vodou. Prudce ochlazená struska vlivem vnitřního tepelného pnutí granuluje. [4, 6]

Vyšších teplot je možno dosáhnout:

- výběrem vhodného paliva,

- zvýšení teploty spalovacího vzduchu,
- jemněji namletým palivem,
- snížením chlazení plamene stěnami ohniště,
- vyšší intenzitou směšování paliva se spalovacím vzduchem.

Tyto kroky umožňují zmenšení přebytku spalovacího vzduchu, což souvisí se zvýšením teploty. [4, 6]

Výhodami tohoto typu kotlů jsou:

- vysoká míra zachycení popela v ohništi (40-70%),
- vyšší měrné tepelné zatížení ohniště díky spalování při vyšších teplotách, s čímž souvisí i snížení přebytku spalovacího vzduchu,
- nižší teplota rosného bodu spalin (asi o 20°C než u granulačních ohnišť), tím pádem i menší komínovou ztrátu. [4, 6]

Nevýhodou jsou vyšší provozní náklady - nutnost jemnějšího mletí paliva, větší rychlosti vzduchu v hořácích. Tyto ohniště nejsou vhodná pro méně kvalitní paliva s vysokým obsahem prchavého podílu, je tedy ekonomicky nutné spalovat především antracitu a černá uhlí. Spalování při vysokých teplotách způsobuje odpařování části popelovin a jejich následnou kondenzaci na dodatkových plochách a tvorbu těžko odstranitelných nánosů. [4, 6]

### 3 Plynové kotle

Spalovací zařízení plyných paliv je relativně nejjednodušší. Spalování může probíhat v hořáku, fluidní vrstvě, nebo na keramické desce. Hlavními částmi spalovacích zařízení na plyná paliva jsou:

- topný systém (hořáky, rozvod plynu),
- pracovní prostor, v kterém probíhá spalování plynu (spalovací komora, prostor pece či kotle),
- zařízení pro odvod spalin, odtahové kanály, komín,

- uzavírací a bezpečnostní orgány,
- zařízení pro spouštění, kontrolu provozu, měření a regulaci.

Plynová zařízení v energetice, průmyslu a v komunální oblasti jsou plynové kotle. [8]

### 3.1 Rozdělení plynových kotlů

Základní dělení kotlů na plynná paliva je:

- teplovodní a nízkotlaké parní kotle,
- parní kotle,
- horkovodní kotle. [8]

Teplovodní plynové kotle slouží k ohřevu teplosměnné látky plynným palivem do maximální teploty 115 °C a maximálního přetlaku u nižších výkonu do 2,5 bar a u vyšších výkonů do 6 bar, což může určovat výrobce. Výroba těchto kotlů je v rozmezí 8 – 3500 kW. [8]

Nízkotlaké parní plynové kotle slouží k výrobě páry s maximálním pracovním přetlakem 0,7 bar. Výkony těchto kotlů jsou 100 – 2400 kW a výroba páry 0,5 - 5,5 t/h. Typická konstrukce pro tyto kotle je kotel plamencový, nebo kombinovaný se žárovými trubkami. [8]

Horkovodní plynové kotle vyrábějí horkou vodu o teplotě nad 115 °C a přetlaku nad 0,17MPa. V České republice se pohybují výkony vyráběných kotlů od 1,1 do 220 MW. Rozsah tlaku vody na výstupu je 0,9 – 7 MPa. Konstrukční provedení u nižších výkonů (cca 1 – 12 MW) bývá kombinované s monoblokovými hořáky. Horkovodní kotle vyšších výkonů jsou blokové, samonosné s membránovými celosvařovanými stěnami, nebo kotle věžové. [8]

Parní plynové kotle slouží k výrobě páry. Rozmezí vyrobené páry je u kotlů vyrobených v České republice 0,16 – 3950 t/h, přetlak páry 0,9 – 25 MPa a teplota páry je do 565 °C. U parních kotlů nižších výkonů je konstrukce výparníku kombinovaná, nebo plamenco-žárotrubná. Jsou vybaveny monoblokovými hořáky pracujícími s přetlakem ve spalovací komoře. Kotle vyšších výkonů mají konstrukci samonosnou s celosvařovanými membránovými stěnami. Používají se zde duoblokové plynové hořáky. [8]

Dále existuje mnoho podrobnějších rozdělení dle jednotlivých kritérií.

- Dle možnosti pohybu na: stabilní, mobilní, přenosné, převozné, pojízdné.
- Dle účelu na: elektrárenské, teplárenské, vytopenské.
- Dle druhu paliva a spalovacího zařízení na: kotle s plynovým ohništěm, kotle s kombinovaným ohništěm, kotle na odpadní teplo.
- Dle konstrukce výparníku na: válcové, plamencové, žárotrubné, bubnové, článkové, vodotrubné, sálavé, s přirozeným oběhem, průtočné/průtlačné, s povzbuzeným oběhem.
- Dle tlaku spalin v ohništi na: s podtlakovým ohništěm, s přetlakovým ohništěm, s vysoce přetlakovým ohništěm. [8]

### 3.2 Palivové hospodářství

Palivové hospodářství je u plynových kotlů relativně jednoduché. Jedná se o redukci tlaku, odstranění nečistot, vlhkosti, případně o ohřev plynu s nízkou výhřevností. Plyn se odebírá přímo z plynárenské soustavy o vyšším tlaku, nebo z plynojemu. Konkrétně je v plynovém potrubí hlavní uzávěr, filtr nečistot, teploměr, tlakoměr, průtokoměr, uzavírací regulační a pojišťovací armatury a výměník pro ohřev plynu. Redukci tlaku před vstupem do hořáku zajišťují redukční ventily. Plyn se odebírá přímo z plynárenské soustavy o vyšším tlaku, nebo z plynojemu. Do kotle vstupuje palivo plynovými hořáky, které zajišťují stejnou kinetickou energii proudů vzduchu a paliva. [5]

Hořáky se dělí na proudové, vířivé a ejektorové. Proudové hořáky mají delší plamen a nižší teploty, proudy přívodu plynu a vzduchu mohou být souběžné, nebo vzájemně skloněné. Hořáky vířivé se vyznačují kratší spalovací dráhou, vyššími teplotami a intenzivnějším promíšením obou médií, jelikož přívody plynu a vzduchu mají opačnou rotaci. Ejektorové hořáky přivádí plyn do dýzy, vystupuje s vysokou rychlostí a přisává si okolní vzduch. Nevýhodou ejektorového hořáku je citlivost na změny tlaku a tahu v ohništi. Dále dle tlaku se hořáky mohou dělit na nízkotlaké (0 – 5 kPa), středotlaké (5 kPa – 0,3 MPa) a vysokotlaké (0,3 MPa a výše). [5]

## 4 Kogenerační jednotky

Kogenerační jednotka je obecně zařízení, které spalování paliva kombinovaně vyrábí tepelnou a elektrickou energii tzv. kogeneračním způsobem. Toto efektivní využití energie z primárních zdrojů má vysokou účinnost, jelikož při klasické výrobě elektrické energie v elektrárnách je vysoko potenciální tepelná energie uvolněná z paliva přeměněna na elektrickou energii a zbylé teplo odváděno do okolí, kdežto při kogeneraci je zbylé teplo použito pro další účely. Tímto způsobem se sníží potřeba paliva, nutností je však odběr obou druhů energií. Velikost a charakter odbytu tepla je hlavním důvodem pro volbu typu a výkonu zdroje. Jako palivo se u kogeneračních jednotek nejčastěji používá zemní plyn. Mohou se však využívat i další druhy plyných paliv jako bioplyn, skládkový plyn, či důlní plyn. [10]

### 4.1 Rozdělení kogeneračních jednotek

Kogenerační jednotky se dělí na jednotky s plynovými spalovacími motory, s plynovými spalovacími turbínami, s parními turbínami a s paroplynovým cyklem. [2, 10]

#### 4.1.1 Kogenerační jednotky s plynovými spalovacími motory

Jedná se o nejpoužívanější typ kogeneračních jednotek. Vhodný je především pro ohřev vody, kdy je využíváno teplo z chlazení motoru a spalín. Teplota vody z chladicího okruhu může dosahovat teploty kolem 80 °C, zatímco teplota spalín se pohybuje mezi 400°C až 500 °C Motor pohání generátor, který produkuje elektrickou energii. Tyto jednotky využívají relativně vysoké účinnosti spalovacích motorů (35 – 45 %) a díky využití tepla je celková účinnost jednotky 80 – 90%. Motory malých výkonů často bývají upravené zážehové automobilové motory. Motory středních výkonů jsou upravené vznětové motory. Motory velkého výkonu jsou již složitá soustrojí odvozená od lodních, či trakčních motorů. [2, 11]

Výhodou kogeneračních jednotek se spalovacím motorem je nižší pořizovací investice než u kogenerační jednotky se spalovací turbínou, avšak je zde nutná častější údržba



a odstavování provozu a také nutné zajištění chlazení motoru. Nevýhodou je také vyšší hmotnost než u spalovacích turbín. [2, 11]

#### **4.1.2 Kogenerační jednotky s plynovými spalovacími turbínami**

Další velmi obvyklou variantou je kogenerační jednotka se spalovací turbínou. Spalovací turbína s parním nebo horkovodním kotlem na odpadní teplo na výstupu spalin z turbíny dosahuje teploty spalin vyšší než 500 °C. Spaliny z kotle jsou dále odváděny do komína, nebo v případě kdy není potřebný odběr tepla je možné odvádět spaliny do tzv. horkého komína. [2]

V porovnání s jinými typy kogeneračních jednotek má tento typ menší rozměry a hmotnost, malý rozsah pomocných zařízení, provozní pružnost, méně častá údržba a nízké emise. Nevýhodou je výše zmíněná pořizovací cena, snižující se tepelná účinnost se zmenšováním jmenovitého výkonu a obvykle potřebný tlak plynu vyšší než 1 MPa. [11]

#### **4.1.3 Kogenerační jednotky s parními turbínami**

Tento typ se používá pro výrobu tepla ve velkém centrálním zdroji. Důležitou součástí parních tepláren jsou vysokotlaké parní kotle a protitlaké, nebo kondenzační turbíny. Vysokotlaká pára je vyráběna v kotli, dále vykonává mechanickou práci na turbíně, která pohání generátor. Nízkopotenciální pára je dále využita jako zdroj tepla. Zde je nutné počítat s vysokými investičními náklady. [5]

### **4.2 Kogenerační jednotky s paroplynovým cyklem**

Lze říci, že tento typ je variantou zvýšení účinnosti plynové turbíny. Teplo spalin z plynové turbíny je využito v kotli, kde se vyrábí pára pro odběrovou nebo protitlakou turbínu. Tyto zařízení mají nejvyšší účinnost. [2]

## 5 Popis teplárny Vítkovice

Teplárna Vítkovice se nachází v městské části Ostrava-Vítkovice. Její historie sahá do roku 1912 a je úzce spjata s Vítkovickými železárnami. Jejím vlastníkem je společnost ČEZ, a.s. [19]

### 5.1 Popis teplárny před ekologizací

Tři kotelní agregáty (K9, K10, K11) v Teplárně Vítkovice sloužily k výrobě páry. Teplo pro výrobu páry se získávalo spalováním mletého černého energetického uhlí s nízkým obsahem síry. Pracovními látkami bylo palivo, voda a vzduch. [23]

Kotle K9 a K10 jsou parní kotle s přirozenou cirkulací s horním bubnem a granulačním ohništěm na uhelný prášek s možností snižování obsahu  $\text{NO}_x$  ve spalínách a částečné stabilizace zemním plynem. Kotle mají tepelný příkon 91,4 MWt. Vyráběná pára má tlak 7,55 MPa, teplotu 510 °C a její množství je 125t/h. Kotelní agregát K11 je dvoutahový kotel s přirozenou cirkulací s granulačním ohništěm pro přímé foukání uhelného prášku, se sestupným zadním tahem a s trubkovým ohřívákem vzduchu. Kotel K11 má jmenovitý tepelný příkon 160,4 MWt, množství a tlak páry 215 t/h a 9,4 MPa. Kotel je stabilizován zemním plynem. [20-22]

K rozdělení vyrobené přehřáté páry z kotlů K9, K10 a K11 slouží strojovna turbogenerátorů. Ta má 4 turbíny o celkovém instalovaném výkonu 79 MW. [23]

Pro tyto kotle by od 1. července 2020 musely být plněny emisní limity uvedené v následující tabulce:

**Tabulka 5.1.1 Emisní limity platné od 1. července 2020 [23]**

| Emise         | Emisní limit [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ] |
|---------------|---|
| TZL           | 20                                      |
| $\text{SO}_2$ | 200                                     |
| $\text{NO}_x$ | 200                                     |
| CO            | 250                                     |

Skutečné hodnoty získané autorizovaným měřením v roce 2014, které kotle vykazovaly, poskytují následující tabulky:

**Tabulka 5.1.2 Skutečné hodnoty pro kotel K9 [23]**

| Emise           | Skutečné hodnoty<br>[mg/m <sup>3</sup> ] |
|-----------------|--|
| TZL             | 13,66                                    |
| SO <sub>2</sub> | 961,51                                   |
| NO <sub>x</sub> | 534,93                                   |
| CO              | 71,88                                    |

**Tabulka 5.1.3 Skutečné hodnoty pro kotel K10 [23]**

| Emise           | Skutečné hodnoty<br>[mg/m <sup>3</sup> ] |
|-----------------|--|
| TZL             | 22,74                                    |
| SO <sub>2</sub> | 986,28                                   |
| NO <sub>x</sub> | 527,17                                   |
| CO              | 77,57                                    |

**Tabulka 5.1.4 Skutečné hodnoty pro kotel K11 [23]**

| Emise           | Skutečné hodnoty<br>[mg/m <sup>3</sup> ] |
|-----------------|--|
| TZL             | 36,53                                    |
| SO <sub>2</sub> | 1189,16                                  |
| NO <sub>x</sub> | 598,16                                   |
| CO              | 39,34                                    |

Z těchto naměřených hodnot vyplývá, že od 1. července 2020 kotle nebudou splňovat závazné emisní limity.

## **5.2 Teplárna Vítkovice po ekologizaci**

Do teplárny Vítkovice byly během roku 2018 nainstalovány tři plynové kotle Bosch UT – HZ 26000 o celkovém výkonu 72 MWt viz kapitola 6. Dále zde byly nainstalovány tři kogenerační jednotky TEDOM Quanto D1200 o celkovém tepelném výkonu 3489 kWt a celkovém elektrickém výkonu 2997 kWe viz kapitola 7.

## 6 Plynové kotle v Teplárně Vítkovice

V Teplárně Vítkovice se v prostorech plynové kotelny nacházejí tři plynové kotle. Jedná se o kotle BOSCH UNIMAT UT-HZ 26000 s integrovaným ekonomizérem. Jmenovitý výkon jednoho kotle je 24 MW při účinnosti 96,2%. Celkový výkon plynové kotelny je 72 MW. Každý kotel je vybaven dvěma hořáky TEMINOX GS 155-45a firmy Saacke v monoblokovém provedení. Kotelna je projektována na teplotní spád 130/80 °C, při použití v letním období je možné kotle provozovat s teplotním spádem 80/70 °C. Plynová kotelna zabezpečuje dodávku tepla do horkovodní sítě v oblasti Ostrava – Vítkovice. Horkovodní systém je v provozu v období od října do května, v letních měsících se spojuje s teplovodním systémem a je provozován na parametrech teplovodního systému. [18]

### 6.1 Kotel BOSCH UT-HZ 26000

Jedná se o horkovodní dvouplamencový žárotrubný třítahový plynový kotel spalující zemní plyn. Jmenovitý výkon je 24 MW. Účinnost při 100% výkonu je 96,25%. Průtočné množství vody je 521,1 m<sup>3</sup>/h a minimální teplota vstupní vody do kotle je 60 °C. Maximální možný rozdíl teploty vody je 40 K. Objem vody v kotli je 54,2 m<sup>3</sup>. Normované množství paliva je 2743 m<sup>3</sup>/h. Komínová ztráta je cca 3,7%, normovaný objemový tok vlhkých spalin 29075 m<sup>3</sup>/h a normovaný hmotnostní tok vlhkých spalin 36076 kg/h. Ztráty sáláním činí 0,12%. Kotle jsou vybaveny pojistnými ventily s pojistným tlakem 16 bar. [18]



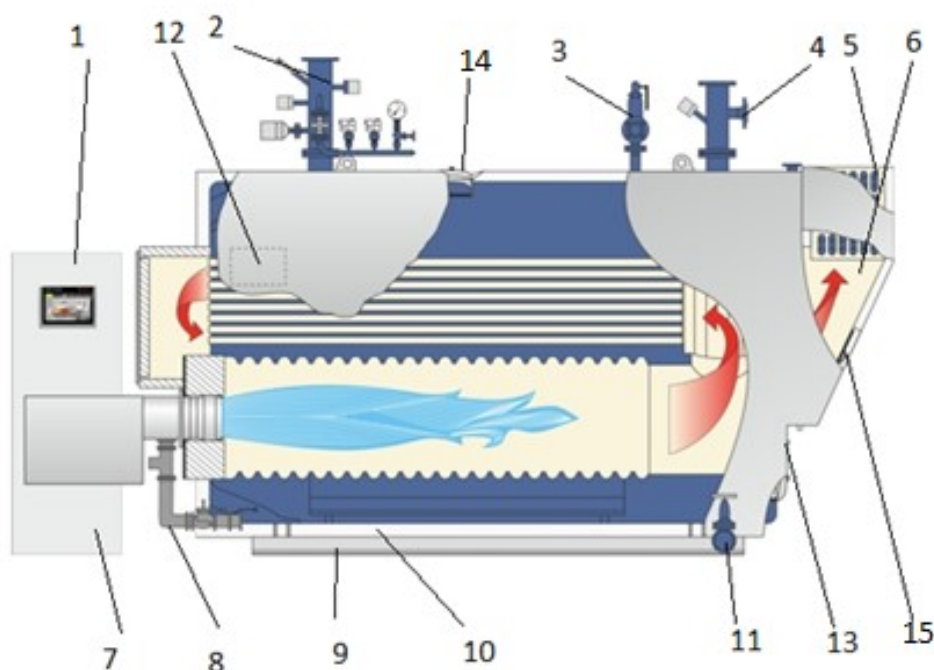
Obrázek 4.1.1 UNIMAT Horkovodní kotel UT-HZ [14]

Výhodou je konstrukce kotle se zcela oddělenými plamenci a spalinovými cestami, kdy kotel může být v provozu pouze s jedním hořákem. Vyrovnávání pnutí při jednoplamencovém provozu je konstrukčně zajištěno, plamence v prostoru předního a zadního dna jsou ukotveny a svařeny. V zadním dnu umístěná spalínová obrátová komora je chlazena vodou a oddělena stabilizační trubkovou stěnou. [9, 18]

Plynový hořák firmy Saacke TEMINOX GS 155-45 v monoblokovém provedení má přípustné emise Nox maximálně  $80 \text{ mg/m}_N^3$  a přípustné emise CO  $20 \text{ mg/m}_N^3$ . [18]

Ekonomizér plní funkci zpětného využívání tepla. Jeho výkon při provozu je 936 kW. Výchřevná plocha ekonomizéru je  $401 \text{ m}^2$  a objemový průtok vody je  $42 \text{ m}^3/\text{h}$ . Vstupní teplota vody je  $80^\circ\text{C}$ , výstupní teplota vody je  $100^\circ\text{C}$  a výstupní teplota spalin je cca  $108^\circ\text{C}$ . [18]

Kotel a celý horkovodní systém je vybaven autonomním řídicím systémem a systémem pro bezobslužný provoz. [18]



**Obrázek 4.1.2 Schéma plynového kotle [15]**

- 1** Kotlový rozvaděč s řídicím systémem kotle BCO
- 2** Výstupní mezikus s omezovačem teploty, regulátorem teploty, omezovačem hladiny, ukazatelem tlaku, omezovačem tlaku (max.), uzavírací armaturou s tlakoměrnou smyčkou

- 3 Pojistný plnozdvíhový ventil
- 4 Vstupní mezikus - hlídač teploty a přípojka pro expanzní potrubí
- 5 Spalinový výměník ECO
- 6 Sběrná komora spalin
- 7 Hořák
- 8 Plynová regulační řada
- 9 Základový rám
- 10 Izolace s opláštěním
- 11 Vypouštěcí uzavírací armatura, bezúdržbová
- 12 Svorkovnice
- 13 Průhledítko do plamence
- 14 Revizní otvor na straně vody
- 15 Revizní otvor na straně spalin

## 6.2 Spotřeba paliva

Předpoklad roční výroby tepla tímto kotlem je cca 608 000 GJ/rok, což při požadované minimální účinnosti kotlů 95% znamená příkon v palivu 640 000 GJ/rok. Roční spotřeba paliva při výhřevnost zemního plynu 34,2 MJ/m<sup>3</sup> je přibližně 18 700 000 m<sup>3</sup>. [18]

## 7 Kogenerační jednotky v Teplárně Vítkovice

Dalším zdrojem tepla ve formě topné vody a elektrické energie z primárního zdroje – zemního plynu jsou v teplárně Vítkovice tři kogenerační jednotky TEDOM Quanto D1200. Kogenerační jednotky na bázi spalovacího motoru jsou umístěny v kontejnerech. Teplo z kogenerační jednotky je vedeno do akumulčních nádob o objemu 150 m<sup>3</sup> a 2x125 m<sup>3</sup>. Vlastní čerpadla kogeneračních jednotek zajišťují jmenovité parametry. Akumulační nádoby vyrovnávají dynamické tlaky oběhových čerpadel a čerpadel kogenerace. Teplotní spád kogeneračních jednotek je navržen na 70/100 °C. Odvod spalin je zajišťován

třísložkovým kouřovodem DN600 nad střechu. Na trase kouřovodu jsou umístěny tlumiče hluku s útlumem na 65 dB. V zimním období jsou kogenerační jednotky v provozu v době 6:00-22:00. [17]

## 7.1 Kogenerační jednotka TEDOM Quanto D1200

Jedná se o kogenerační jednotku se spalovacím motorem. Pístový motor spalující zemní plyn používá princip běžných automobilových motorů. Motor pohání elektrický generátor a přitom tvoří odpadní teplo – teplo vzniklé chlazením spalín a chlazením bloku motoru. Obecně mají kogenerační jednotky se spalovacími motory relativně nízké pořizovací náklady, ale relativně vyšší provozní náklady zapříčiněny zejména pravidelnou údržbou. [11, 17]



**Obrázek 5.1 Kogenerační jednotka TEDOM Quanto [16]**

Kogenerační jednotka má jmenovitý elektrický výkon 999 kW a tepelný výkon 1163 kW. Příkon v palivu je 2381 kW. Celková účinnost zařízení je 90,8%, přičemž elektrická účinnost je 42,0% a tepelná 48,8%. Jednotka při 100% výkonu spotřebuje 252 m<sup>3</sup>/h zemního plynu, při uvažované výhřevnosti zemního plynu 34,0 MJ/m<sup>3</sup>. Přetlak plynu na vstupu je 15 kPa. Garantované emise při 5% O<sub>2</sub> ve spalínách jsou pro NO<sub>x</sub> 250 mg/m<sup>3</sup> a pro CO 300 mg/m<sup>3</sup>. [17]

Součástí kogenerační jednotky v kapotovaném provedení jsou:

- blok motoru TCG 2020 V12 firmy MWM,
- generátor MJB 450 LA4 o zdánlivém výkonu 1200 kVA firmy Marelli,
- ventilátory vzduchotechniky,
- rychlouzavírací ventil plynu,
- deskový výměník glykol/voda.

Olejové hospodářství kogenerační jednotky tvoří dvoupplášťová nádoba rozdělená na dva objemy – 1500 l a 1000 l. Obsah oleje v motoru je 715 l. Konstrukce kapotovaného provedení zajišťuje případný únik oleje - spodní část kontejneru tvoří záchytnou vanu. Výměnu oleje a servisní práce obstarává servisní firma dodavatele. [17]

Kogenerační jednotka nepracuje v kondenzačním režimu, při běžném provozu tedy nevzniká kondenzát ve spalínách. Malé množství kondenzátu vzniká při startu kogenerační jednotky, jedná se o množství cca 20 l/den. Toto množství bude neutralizováno v neutralizačním boxu a následně odvedeno do splaškové kanalizace v objektu. Výsledné pH kondenzátu je 6,5 – 7,5 pH. Podíl oleje v kondenzátu je menší než 50 mg/l. [17]

### **7.1.1 Spotřeba paliva**

Při provozu maximálně 3005 h/rok a maximálním odběru zemního plynu 252 m<sup>3</sup>/h činí spotřeba 757260 m<sup>3</sup>/rok. Z tohoto množství je výroba tepla 12581 GJ a výroba elektrické energie 3002 MWh. Dalším spotřebním materiálem je motorový olej, sloužící k mazání klikového mechanismu spalovacího motoru. [17]

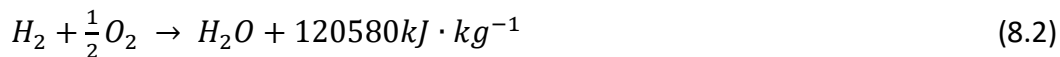
## **8 Spalování paliv**

Spalování je oxidační exotermická reakce probíhající při každé teplotě. Hořením se nazývá fyzikálně chemický děj, při kterém dochází ke slučování hořlaviny s okysličovadlem za vzniku tepla a doprovodného světelného efektu. [24]



## 8.1 Spalovací reakce

Při spalovacích reakcích označovaných jako exotermické se slučují hořlavé prvky s kyslíkem:



Spalování neprobíhá pouze za účasti kyslíku, ale také za přítomnosti dusíku. Dusík se reakcí neúčastní a přechází jako balast do odpadních kouřových plynů a také se současně slučuje s kyslíkem na oxidy dusíku souhrnně označované jako NO<sub>x</sub>.

## 8.2 Emise při spalování fosilních paliv

Při spalování se vypouštěné znečišťující látky dostávají do ovzduší a škodí životnímu prostředí. Sloučeniny, které jsou obsaženy ve spalínách mohou reagovat v atmosféře a při vysoké rozpustnosti ve vodě jsou ukládány zpět na zemský povrch. Ty sloučeniny, které reaktivní nejsou, se rozprostírají v troposféře a stratosféře, kde díky slunečnímu záření může dojít k jejich rozkladu na reaktivnější částice. [25]

### 8.2.1 Tvorba oxidů síry

Oxid siřičitý SO<sub>2</sub> vzniká při spalování fosilních paliv oxidací síry vzdušným kyslíkem. Jeho koncentrace ve spalínách je závislá na obsahu spalitelné síry v palivu. Asi 1-2% vzniklého SO<sub>2</sub> podléhá v kotli oxidaci na oxid sírový SO<sub>3</sub>, což se děje i v atmosféře, kde dochází k následné tvorbě kyseliny sírové H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Ta se dále dostává ve vodních srážkách na zemský povrch v podobě kyselých dešťů. [25-26]

### 8.2.2 Tvorba oxidů dusíku

Oxidy dusíku obecně označované jako NO<sub>x</sub> se skládají především z oxidu dusnatého NO (asi 90% množství) a oxidu dusičitého NO<sub>2</sub> (asi 5-10% množství). Oxidy dusíku se dělí

na termické, palivové a rychlé. Oxidy dusíku se tvoří oxidací dusíku obsaženého ve vzduchu, oxidací dusíku vázaného v palivu a oxidací dusíkatých meziproduktů v plynné fázi. [25]

### **8.2.3 Tvorba emisí CO<sub>2</sub> a CO**

Tvorba oxidu uhličitého je dána základní spalovací reakcí a je doprovázena uvolněním tepelné energie. Při nedokonalém spalování s nedostatkem kyslíku nedochází k úplné oxidaci uhlíku a vytváří se oxid uhelnatý CO. Oxid uhelnatý je silně toxický a i při nízkých koncentracích dochází k poškozování dýchacího a oběhového systému lidského organismu. [25-26]

### **8.2.4 Emise tuhých částic**

Tvorba emisí tuhých částic je z nespálené popeloviny obsažené v uhlí a v malé míře také z nespáleného uhlíku. Popeloviny, které nejsou odváděny v podobě tuhého zbytku z ohniště, nebo zachyceny v odlučovačích, odchází do atmosféry. Popílek následně dopadá do různých vzdáleností od komína a znečišťuje životní prostředí. [25]

### **8.2.5 Jiné plynné emise**

V závislosti na kvalitě paliva a spalovacím procesu mohou spaliny obsahovat také jiné škodliviny. Především se jedná o plynný chlorovodík HCl, fluorovodík HF, stopové prvky a organické sloučeniny, které jsou uvolněny během spalování. [25]

## **8.3 Spalování tuhých a kapalných paliv**

Palivo se skládá ze tří základních složek: hořlaviny (h), popeloviny (A) a vody (w).

Hořlavina jakožto nositel energie obsahuje aktivní a pasivní (balastní) složky. Aktivní prvky hořlaviny - uhlík, vodík a síra přináší energetickou hodnotu, která se při spalování uvolňuje. Pasivní složku hořlaviny tvoří prvky dusíku a kyslíku. U tuhých paliv je důležitým faktorem pro volbu a řízení spalovacího procesu obsah prchavého a tuhého podílu hořlaviny. Obsah prchavé hořlaviny závisí na geologickém stáří paliva, přičemž starší palivo

má menší podíl prchavé hořlaviny. Prchavá hořlavina ovlivňuje průběh vzněcování paliva, přičemž vyšší podíl prchavé hořlaviny v palivu zajišťuje lepší vznětlivost, ale palivo hůře vyhořívá. [4, 26-28]

Popelovina představuje směs různě chemicky vázaných minerálů, jako karbonáty, sulfidy, sulfáty, jílové materiály, oxidy a halogenní materiály. Při spalování se v ní uskutečňují chemické reakce, dochází ke změně složení a vzniká popel. [26, 27]

Voda obsažená v palivu je stejně jako popelovina pasivní složkou paliva. Snižuje spalovací teplotu, prodlužuje dobu zapalování a při spalování zvětšuje objem spalin a tím i komínovou ztrátu. Lze ji z paliva relativně snadno z části odstranit, což zapříčiňuje zvýšení výhřevnosti. Voda v palivu se dělí na hrubou a zbylou. Hrubá voda je kapilárně vázána a je možnost ji odpařit sušením paliva i při běžných teplotách a relativní vlhkosti vzduchu. Zbylá, hygroskopická voda se uvolňuje sušením za zvýšené teploty (105° C). [24, 26-27]

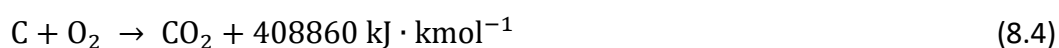
## 8.4 Spalovací rovnice pro tuhá a kapalná paliva

Spalovací rovnice vycházejí ze základních stechiometrických vztahů. Pro přesné výpočty objemových množství potřebného objemu spalovacího vzduchu a výsledných produktů spalování se vychází z molekulové hmotnosti jednotlivých prvků, která bývá udávána v kilomolech. Za normálních podmínek (při teplotě 0 °C a tlaku 101325 Pa) má jeden kilomol u všech plynů objem 22,4 m<sup>3</sup>. [24, 26-27]

**Tabulka 5.2 Molekulové hmotnosti prvků v hořlavině [28]**

| Prvek                       | Kilomol            |                               |
|-----------------------------|--------------------|-------------------------------|
|                             | hmotnostní<br>[kg] | objemový<br>[m <sup>3</sup> ] |
| Vodík <b>H<sub>2</sub></b>  | 2,016              | 22,4                          |
| Uhlík <b>C</b>              | 12,01              | 22,4                          |
| Kyslík <b>O<sub>2</sub></b> | 32                 | 22,4                          |
| Síra <b>S</b>               | 32,06              | 22,4                          |
| Dusík <b>N<sub>2</sub></b>  | 28,013             | 22,4                          |

**Spalování uhlíku na oxid uhličitý:**



$$1 \text{ kmol C} + 1 \text{ kmol O}_2 = 1 \text{ kmol CO}_2 \quad (8.5)$$

$$12,01 \text{ kg C} + 32 \text{ kg O}_2 = 44,01 \text{ kg CO}_2 \quad (8.6)$$

$$12,01 \text{ kg C} + 22,39 \text{ m}_N^3 \text{ O}_2 = 22,26 \text{ m}_N^3 \text{ CO}_2 \quad (8.7)$$

**Spalování vodíku na vodní páru:**

$$2 \text{ H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ H}_2\text{O} + 241790 \text{ kJ} \cdot \text{kmol}^{-1} \quad (8.8)$$

$$2 \text{ kmol H}_2 + 1 \text{ kmol O}_2 = 2 \text{ kmol H}_2\text{O} \quad (8.9)$$

$$4,032 \text{ kg H}_2 + 32 \text{ kg O}_2 = 36,032 \text{ kg H}_2\text{O} \quad (8.10)$$

$$4,032 \text{ kg H}_2 + 22,39 \text{ m}_N^3 \text{ O}_2 = 44,80 \text{ m}_N^3 \text{ H}_2\text{O} \quad (8.11)$$

**Spalování síry na oxid siřičitý:**

$$\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2 + 296680 \text{ kJ} \cdot \text{kmol}^{-1} \quad (8.12)$$

$$1 \text{ kmol S} + 1 \text{ kmol O}_2 = 1 \text{ kmol SO}_2 \quad (8.13)$$

$$32,06 \text{ kg S} + 32 \text{ kg O}_2 \rightarrow 64,06 \text{ kg SO}_2 \quad (8.14)$$

$$32,06 \text{ kg S} + 22,39 \text{ m}_N^3 \text{ O}_2 \rightarrow 21,89 \text{ m}_N^3 \text{ SO}_2 \quad (8.15)$$

[24]

### 8.4.1 Výpočet množství spalovacího vzduchu a spalin spalováním uhlí

Množství spalovacího vzduchu je možné určit z výhřevnosti spalovaného paliva, nebo z chemického složení paliva. První z možných způsobů není zcela přesný, ale může být dostačující. Druhý způsob je přesnější, ale je potřeba znát prvkové složení paliva, což je nákladné. Pro výpočet je využita druhá metoda. [28]

**Tabulka 8.4.1 Složení černého uhlí spalovaného v Teplárně Vítkovice**

| Složka                      | Hmotnostní zastoupení [%] |
|-----------------------------|---------------------------|
| uhlík <b>C</b>              | 73                        |
| kyslík <b>O<sub>2</sub></b> | 5                         |
| vodík <b>H<sub>2</sub></b>  | 4                         |
| dusík <b>N<sub>2</sub></b>  | 1,4                       |
| síra <b>S</b>               | 0,3                       |
| voda <b>w</b>               | 9,7                       |
| popelovina <b>A</b>         | 6,6                       |

**Minimální množství kyslíku pro spálení 1kg paliva:**

$$V_{O_2;t} = \frac{22,39}{12,01} \cdot C + \frac{22,39}{4,032} \cdot H_2 + \frac{22,39}{32,06} \cdot S - \frac{22,39}{32} \cdot O_2 \quad \left[ \frac{m^3_{N_{O_2}}}{kg_{pal}} \right] \quad (8.16)$$

kde C, H<sub>2</sub>, S, O<sub>2</sub> jsou hodnoty podílu složek v černém uhlí.

$$V_{O_2;t} = \frac{22,39}{12,01} \cdot 0,73 + \frac{22,39}{4,032} \cdot 0,04 + \frac{22,39}{32,06} \cdot 0,003 - \frac{22,39}{32} \cdot 0,05$$

$$V_{O_2;t} = 1,5502 \frac{m^3_{N_{O_2}}}{kg_{pal}}$$

**Teoretické množství suchého vzduchu pro spálení 1kg paliva:**

$$V_{vz;t}^s = \frac{1}{0,21} \cdot V_{O_2;t} \quad \left[ \frac{m^3_{N_{vz}}}{kg_{pal}} \right] \quad (8.17)$$

$$V_{vz;t}^s = \frac{1}{0,21} \cdot 1,5502$$

$$V_{vz;t}^s = 7,3817 \frac{m^3_{N_{vz}}}{kg_{pal}}$$

**Skutečné množství suchého vzduchu pro spálení 1kg paliva:**

$$V_{vz;sk}^s = V_{vz;t}^s \cdot n \quad \left[ \frac{m^3_{N_{vz}}}{kg_{pal}} \right] \quad (8.18)$$

kde n je součinitel přebytku vzduchu, je zvolen n=1,2 pro práškové granulační ohniště.

[4]

$$V_{vz;sk}^s = 7,3817 \cdot 1,2$$

$$V_{vz;sk}^s = 8,8580 \frac{m_{N_{vz}}^3}{kg_{pal}}$$

**Skutečné množství vlhkého vzduchu pro spálení 1kg paliva:**

$$V_{vz;sk}^v = V_{vz;sk}^s \cdot v \quad \left[ \frac{m_{N_{vz}}^3}{kg_{pal}} \right] \quad (8.19)$$

kde  $v$  je součinitel poměrného zvětšení objemu vlhkého vzduchu oproti vzduchu suchému,  $v=1,04$ . [28]

$$V_{vz;sk}^v = 8,8580 \cdot 1,04$$

$$V_{vz;sk}^v = 9,2124 \frac{m_{N_{vz}}^3}{kg_{pal}}$$

**Teoretické množství suchých spalin vzniklých spálením 1kg paliva:**

$$V_{sp;t}^s = \frac{22,39}{12,01} \cdot C + \frac{22,39}{32} \cdot S + \frac{22,39}{28,013} \cdot N_2 + 0,79 \cdot V_{vz;t}^s \quad \left[ \frac{m_{N_{sp}}^3}{kg_{pal}} \right] \quad (8.20)$$

$$V_{sp;t}^s = \frac{22,39}{12,01} \cdot 0,73 + \frac{22,39}{32} \cdot 0,003 + \frac{22,39}{28,013} \cdot 0,014 + 0,79 \cdot 7,3817$$

$$V_{sp;t}^s = 7,2058 \frac{m_{N_{sp}}^3}{kg_{pal}}$$

**Skutečné množství suchých spalin vzniklých spálením 1kg paliva:**

$$V_{sp;sk}^s = V_{sp;t}^s + (n - 1) \cdot V_{vz;t}^s \quad \left[ \frac{m_{N_{sp}}^3}{kg_{pal}} \right] \quad (8.21)$$

$$V_{sp;sk}^s = 7,2058 + (1,2 - 1) \cdot 7,3817$$

$$V_{sp;sk}^s = 8,6821 \frac{m_{N_{sp}}^3}{kg_{pal}}$$

**Množství vodní páry ve spalinách:**

$$V_{H_2O} = \frac{22,39}{2,016} \cdot H_2 + \frac{22,39}{18,015} \cdot w + n \cdot (v - 1) \cdot V_{vz;t}^s \quad \left[ \frac{m_{N_{H_2O}}^3}{m_{N_{sp}}^3} \right] \quad (8.22)$$

Kde  $w$  je hodnota podílu vody v černém uhlí.

$$V_{H_2O} = \frac{22,39}{2,016} \cdot 0,04 + \frac{22,39}{18,015} \cdot 0,097 + 1,2 \cdot (1,04 - 1) \cdot 7,3817$$

$$V_{H_2O} = 0,9191 \left[ \frac{m_{N_{H_2O}}^3}{m_{N_{sp}}^3} \right]$$

**Skutečné množství vlhkých spalin vzniklých spálením 1kg paliva:**

$$V_{sp;sk}^v = V_{sp;sk}^s + V_{H_2O} \left[ \frac{m_{N_{sp}}^3}{kg_{pal}} \right] \quad (8.23)$$

$$V_{sp;sk}^v = 8,6821 + 0,9191$$

$$V_{sp;sk}^v = 9,6012 \frac{m_{N_{sp}}^3}{kg_{pal}}$$

## 8.4.2 Přepočet koncentrací spalin

Pro přepočet koncentrací spalin, které vznikly spalováním uhlí, se ve výpočtu vychází z hodnot obsažených v následující tabulce.

**Tabulka 8.4.2 Emisní faktory při spalování tuhých paliv [30]**

| Druh paliva | Druh topeniště | Tepelný výkon kotle | Emisní faktor<br>(kg/t spáleného paliva) |                 |                 |     |
|-------------|----------------|---------------------|--|-----------------|-----------------|-----|
|             |                |                     | TZL                                      | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | CO  |
| černé uhlí  | granulační     | jakýkoliv           | 8,5.A                                    | 19,0.S          | 9               | 0,5 |

**Emise oxidu uhelnatého:**

$$M_{CO} = 0,5 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1} \Rightarrow 500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \quad (8.24)$$

$$E_{CO} = \frac{M_{CO}}{V_{sp;sk}^s} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right] \quad (8.25)$$

$$E_{CO} = \frac{500}{8,6821}$$

$$E_{CO} = 57,59 \left[ \frac{\text{mg}}{\text{m}_N^3} \right]$$

**Emise oxidů dusíku:**

$$M_{NO_x} = 9 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1} \Rightarrow 9000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \quad (8.26)$$

$$E_{NO_x} = \frac{M_{NO_x}}{V_{sp;sk}^s} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{m}_N^3} \right] \quad (8.27)$$

$$E_{NO_x} = \frac{9000}{8,6821}$$

$$E_{NO_x} = 1036,61 \left[ \frac{\text{mg}}{\text{m}_N^3} \right]$$

**Emise oxidu siřičitého:**

$$M_{SO_2} = 19 \cdot S = 19 \cdot 0,3 = 5,7 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1} \Rightarrow 5700 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \quad (8.28)$$

Kde S je obsah síry v původním palivu [%].

$$E_{SO_2} = \frac{M_{SO_2}}{V_{sp;sk}^s} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{m}_N^3} \right] \quad (8.29)$$

$$E_{SO_2} = \frac{5700}{8,6821}$$

$$E_{SO_2} = 656,52 \left[ \frac{\text{mg}}{\text{m}_N^3} \right]$$

**Emise tuhých znečišťujících látek:**

$$M_{TZL} = 8,5 \cdot A = 8,5 \cdot 6,6 = 56,1 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1} \Rightarrow 56100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \quad (8.30)$$

Kde A je obsah popeloviny v původním palivu [%].

$$E_{TZL} = \frac{M_{TZL}}{V_{sp;sk}^s} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{m}_N^3} \right] \quad (8.31)$$

$$E_{TZL} = \frac{56100}{8,6821}$$

$$E_{TZL} = 6461,57 \left[ \frac{\text{mg}}{\text{m}_N^3} \right]$$



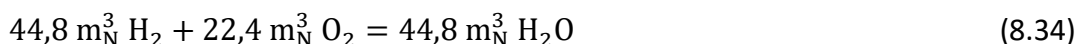
## 8.5 Spalování plynných paliv

Plynná paliva představují v porovnání s tuhými a kapalnými palivy ideální hořlavou v látku z hlediska podmínek pro nejdokonalejší spalovací proces. Při spalování topných plynů je možné kvalitní promíchání se spalovacím vzduchem, jelikož jsou obě látky ve stejném skupenství. [4, 25]

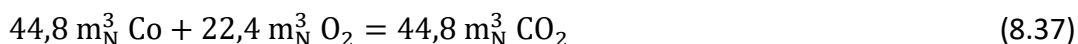
Hořlavé složky obsaženy v plynných palivech jsou vodík  $H_2$ , oxid uhelnatý  $CO$  a uhlovodíky  $C_xH_y$ . Nehořlavé složky tvoří především oxid uhelnatý  $CO_2$ , dusík  $N_2$ , kyslík  $O_2$  a vodní pára. [4, 25]

Pro objemové výpočty se vychází z těchto základních vztahů:

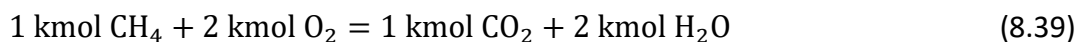
### Spalování vodíku:



### Spalování oxidu uhelnatého:



### Spalování metanu:



### Spalování uhlovodíků $C_xH_y$ :



$$1 \text{ kmol } C_xH_y + \left(x + \frac{y}{4}\right) \cdot \text{ kmol } O_2 = x \cdot \text{ kmol } CO_2 + \frac{y}{2} \cdot \text{ kmol } H_2O \quad (8.42)$$

$$22,4 \text{ m}_N^3 CH_4 + \left(x + \frac{y}{4}\right) \cdot 22,4 \text{ m}_N^3 O_2 = x \cdot 22,4 \text{ m}_N^3 CO_2 + \frac{y}{2} \cdot 22,4 \text{ m}_N^3 H_2O \quad (8.43)$$

[4, 25]

Spalovací reakce sdělují pouze prvotní a konečný stav řady mezireakcí. Nevyjadřují tedy skutečný průběh z pohledu chemické kinetiky. Ve skutečnosti se tvoří mnoho produktů a mezi produktů, které se mohou rozpadnout za velice krátkou dobu. Při spalování za vyšších teplot dochází k disociační reakci, což je endotermický jev, kdy se molekuly rozkládají na atomy. [4, 25]

## 8.6 Výpočet množství spalovacího vzduchu a spalin spalováním zemního plynu

Pro výpočet množství spalovacího vzduchu a spalin spalováním zemního plynu jsou použity hodnoty z následující tabulky:

**Tabulka 5.4 Složení zemního plynu [29]**

| Složka               | Objemové zastoupení [%] |
|----------------------|-------------------------|
| Metan $CH_4$         | 98,39                   |
| Etan $C_2H_6$        | 0,44                    |
| Propan $C_3H_8$      | 0,16                    |
| Butan $C_4H_{10}$    | 0,07                    |
| Pentan $C_5H_{12}$   | 0,03                    |
| Dusík $N_2$          | 0,84                    |
| Oxid uhličitý $CO_2$ | 0,07                    |

**Množství kyslíku pro spálení 1  $m_N^3$  zemního plynu:**

$$V_{O_2} = \sum \left(x + \frac{y}{4}\right) \cdot C_xH_y \quad \left[ \frac{m_{NO_2}^3}{m_{Npal}^3} \right] \quad (8.44)$$

Kde  $x, y$  jsou proměnné,  $C_xH_y$  je obecné zastoupení objemového podílu uhlovodíků v zemním plynu.

$$V_{O_2} = \left(1 + \frac{4}{4}\right) \cdot 0,9839 + \left(2 + \frac{6}{4}\right) \cdot 0,0044 + \left(3 + \frac{8}{4}\right) \cdot 0,0016 + \left(4 + \frac{10}{4}\right) \cdot 0,0007 + \left(5 + \frac{12}{4}\right) \cdot 0,0003$$

$$V_{O_2} = 1,9982 \frac{m_{N_{O_2}}^3}{m_{N_{pal}}^3}$$

**Teoretické množství suchého spalovacího vzduchu pro spálení 1 m<sub>N</sub><sup>3</sup> zemního plynu:**

$$V_{vz;t}^s = \frac{1}{0,21} \cdot V_{O_2} \left[ \frac{m_{N_{vz}}^3}{m_{N_{pal}}^3} \right] \quad (8.45)$$

$$V_{vz;t}^s = \frac{1}{0,21} \cdot 1,9982$$

$$V_{vz;t}^s = 9,515 \frac{m_{N_{vz}}^3}{m_{N_{pal}}^3}$$

**Skutečné množství suchého spalovaného vzduchu pro spálení 1 m<sub>N</sub><sup>3</sup> zemního plynu:**

$$V_{vz;sk}^s = n \cdot V_{vz;t}^s \left[ \frac{m_{N_{vz}}^3}{m_{N_{pal}}^3} \right] \quad (8.46)$$

Součinitel přebytku vzduchu  $n$  je určen  $n=1,15$  pro zemní plyn.

$$V_{vz;sk}^s = 1,15 \cdot 9,515$$

$$V_{vz;sk}^s = 10,9423 \frac{m_{N_{vz}}^3}{m_{N_{pal}}^3}$$

**Skutečné množství vlhkého spalovaného vzduchu pro spálení 1 m<sub>N</sub><sup>3</sup> zemního plynu:**

$$V_{vz;sk}^v = V_{vz;sk}^s \cdot v \left[ \frac{m_{N_{vz}}^3}{m_{N_{pal}}^3} \right] \quad (8.47)$$

Součinitel poměrného zvětšení objemu vlhkého vzduchu oproti vzduchu suchému  $v=1,04$ . [28]

$$V_{vz;sk}^v = 10,9423 \cdot 1,01$$

$$V_{vz;sk}^v = 11,0517 \frac{m_{N_{vz}}^3}{m_{N_{pal}}^3}$$

**Množství spalin CO<sub>2</sub> vzniklých spálením 1 m<sub>N</sub><sup>3</sup> zemního plynu:**

$$V_{CO_2} = CO_2 + \sum x \cdot C_x H_y \left[ \frac{m_{N_{CO_2}}^3}{m_{N_{pal}}^3} \right] \quad (8.48)$$

$$V_{CO_2} = 0,0007 + 1 \cdot 0,9839 + 2 \cdot 0,0044 + 3 \cdot 0,0016 + 4 \cdot 0,0007 + 5 \cdot 0,0003$$

$$V_{CO_2} = 1,0025 \frac{m_{N_{CO_2}}^3}{m_{N_{pal}}^3}$$

**Množství vody ve spalinách vzniklých spálením 1 m<sub>N</sub><sup>3</sup> zemního plynu:**

$$V_{H_2O} = \sum \frac{y}{2} \cdot C_x H_y + (v - 1) \cdot V_{vz;sk}^s \left[ \frac{m_{N_{H_2O}}^3}{m_{N_{pal}}^3} \right] \quad (8.49)$$

$$V_{H_2O} = \frac{4}{2} \cdot 0,9839 + \frac{6}{2} \cdot 0,0044 + \frac{8}{2} \cdot 0,0016 + \frac{10}{2} \cdot 0,0007 + \frac{12}{2} \cdot 0,0003 + (1,01 - 1) \cdot 10,9423$$

$$V_{H_2O} = 2,1021 \frac{m_{N_{H_2O}}^3}{m_{N_{pal}}^3}$$

**Množství spalin N<sub>2</sub> vzniklých spálením 1 m<sub>N</sub><sup>3</sup> zemního plynu:**

$$V_{N_2} = N_2 + 0,79 \cdot V_{vz;t}^s \left[ \frac{m_{N_{N_2}}^3}{m_{N_{pal}}^3} \right] \quad (8.50)$$

$$V_{N_2} = 0,0084 + 0,79 \cdot 9,5150$$

$$V_{N_2} = 7,5253 \frac{m_{N_{N_2}}^3}{m_{N_{pal}}^3}$$

**Teoretické množství suchých spalin vzniklých spálením 1 m<sub>N</sub><sup>3</sup> zemního plynu:**

$$V_{sp;t}^s = V_{CO_2} + V_{N_2} \left[ \frac{m_{N_{sp}}^3}{m_{N_{pal}}^3} \right] \quad (8.51)$$

$$V_{sp;t}^s = 1,0025 + 7,5253$$

$$V_{sp;t}^s = 8,5278 \frac{m_{N_{sp}}^3}{m_{N_{pal}}^3}$$

**Skutečné množství suchých spalin vzniklých spálením 1 m<sub>N</sub><sup>3</sup> zemního plynu:**

$$V_{sp;sk}^s = V_{sp;t}^s + (n - 1) \cdot V_{vz;t}^s \left[ \frac{m_{N_{sp}}^3}{m_{N_{pal}}^3} \right] \quad (8.52)$$

$$V_{sp;sk}^s = 8,5278 + (1,15 - 1) \cdot 9,515$$

$$V_{sp;sk}^s = 9,955 \frac{m_{N_{sp}}^3}{m_{N_{pal}}^3}$$

**Skutečné množství vlhkých spalin vzniklých spálením 1 m<sub>N</sub><sup>3</sup> zemního plynu:**

$$V_{sp;sk}^v = V_{sp;sk}^s + V_{H_2O} \left[ \frac{m_{N_{sp}}^3}{m_{N_{pal}}^3} \right] \quad (8.53)$$

$$V_{sp;sk}^v = 9,955 + 2,1021$$

$$V_{sp;sk}^v = 12,0571 \frac{m_{N_{sp}}^3}{m_{N_{pal}}^3}$$

### 8.6.1 Přepočet koncentrací spalin

Pro přepočet koncentrací spalin, které vznikly spalováním zemního plynu, se vychází z hodnot obsažených v následující tabulce.

**Tabulka 8.6.1 Emisní faktory při spalování kapalných paliv [30]**

| Druh paliva | Druh topeniště | Tepelný výkon kotle         | Emisní faktor<br>(kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> spáleného paliva) |                 |     |
|-------------|----------------|-----------------------------|---|-----------------|-----|
|             |                |                             | TZL   | NO <sub>x</sub> | CO  |
| Zemní plyn  | jakýkoliv      | >5 MW až do 50 MW<br>včetně | 20  | 3300            | 270 |

**Emise oxidu uhelnatého:**

$$M_{\text{CO}} = 270 \text{ kg} \cdot 10^6 \cdot \text{m}^3 \Rightarrow 270 \text{ mg} \quad (8.54)$$

$$E_{\text{CO}} = \frac{M_{\text{CO}}}{V_{\text{sp;sk}}^s} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{m}_N^3} \right] \quad (8.55)$$

$$E_{\text{CO}} = \frac{270}{9,955}$$

$$E_{\text{CO}} = 27,12 \left[ \frac{\text{mg}}{\text{m}_N^3} \right]$$

**Emise oxidů dusíku:**

$$M_{\text{NO}_x} = 3300 \text{ kg} \cdot 10^6 \cdot \text{m}^3 \Rightarrow 3300 \text{ mg} \quad (8.56)$$

$$E_{\text{NO}_x} = \frac{M_{\text{NO}_x}}{V_{\text{sp;sk}}^s} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{m}_N^3} \right] \quad (8.57)$$

$$E_{\text{NO}_x} = \frac{3300}{9,955}$$

$$E_{\text{NO}_x} = 331,49 \left[ \frac{\text{mg}}{\text{m}_N^3} \right]$$

**Emise tuhých znečišťujících látek:**

$$M_{\text{TZL}} = 20 \text{ kg} \cdot 10^6 \cdot \text{m}^3 \Rightarrow 20 \text{ mg} \quad (8.58)$$

$$E_{\text{TZL}} = \frac{M_{\text{TZL}}}{V_{\text{sp;sk}}^s} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{m}_N^3} \right] \quad (8.59)$$

$$E_{\text{TZL}} = \frac{20}{9,955}$$

$$E_{\text{TZL}} = 2,01 \left[ \frac{\text{mg}}{\text{m}_N^3} \right]$$

## 9 Porovnání emisí z uhelných a plynových zdrojů

Pro porovnání spalování černého uhlí a zemního plynu v teplárně Vítkovice je potřeba určit roční spotřebu černého uhlí a zemního plynu a následně vypočítat roční produkci emisí v tunách za rok.

### 9.1 Roční spotřeba černého uhlí:

V teplárně Vítkovice byly nainstalovány tři uhelné kotle K9, K10 a K11. Účinnosti spalování a tepelný výkon jednotlivých kotlů jsou zobrazeny v následující tabulce. Roční spotřeba je uvažována při koeficientu ročního využití 100%.

**Tabulka 9.1 Výpočet celkového příkonu v palivu [20-23]**

| kotel  | Účinnost $\eta$ [-] | výkon [MWt] | příkon [MWt]  |
|--------|---------------------|-------------|---------------|
| K11    | 0,865               | 160,4       | 185,43        |
| K10    | 0,88                | 91,4        | 103,86        |
| K9     | 0,854               | 91,4        | 107,03        |
| Součet |                     |             | <b>396,32</b> |

Je uveden pouze jeden příkladový výpočet pro příkon kotle.

$$\text{Příkon} = \frac{\text{Výkon}}{\eta} \text{ [MWt]} \quad (9.1)$$

$$\text{Příkon} = \frac{160,4}{0,865}$$

$$\text{Příkon} = 185,42 \text{ MWt}$$

**Převod MWh na GJ:**

$$396,32 \text{ MWh} \cdot 3,6 \Rightarrow 1426,752 \text{ GJ} \quad (9.2)$$

**Roční spotřeba energie:**

$$Q_{\text{rok}} = Q_h \cdot 24 \cdot 365 \text{ [GJ]} \quad (9.3)$$

$$Q_{\text{rok}} = 1426,752 \cdot 24 \cdot 365$$

$$Q_{\text{rok}} = 12498347,52 \text{ GJ} \Rightarrow 12498347520 \text{ MJ}$$

**Výhřevnost uhlí:**

$$Q_i = 33,91 \cdot C + 121,42 \cdot H - 15,18 \cdot O + 10,47 \cdot S - 2,45 \cdot w \text{ [MJ} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (9.4)$$

$$Q_i = 33,91 \cdot 0,73 + 121,42 \cdot 0,04 - 15,18 \cdot 0,05 + 10,47 \cdot 0,003 - 2,45 \cdot 0,097$$

$$Q_i = 28,6 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

**Roční spotřeba uhlí:**

$$m_{\text{rok}} = \frac{Q_{\text{rok}}}{Q_i} \text{ [kg]} \quad (9.5)$$

$$m_{\text{rok}} = \frac{12498347520}{28,6}$$

$$m_{\text{rok}} = 436305543,63 \text{ kg}$$

## 9.2 Roční spotřeba zemního plynu

Spotřeba zemního plynu v teplárně Vítkovice je dána provozem tří plynových kotlů a tří kogeneračních jednotek. Provoz kogeneračních jednotek je pouze 3005 hodin v roce, přičemž jedna kogenerační jednotka spotřebuje za hodinu 252 m<sup>3</sup> zemního plynu. Množství zemního plynu spotřebovaného třemi kogeneračními jednotkami je 2271780 m<sup>3</sup>/rok. Spotřeba zemního plynu při celoročním provozu tří plynových kotlů je 56100000 m<sup>3</sup>/rok.

Celková spotřeba zemního plynu je tedy  $V_{\text{rok}} = 58371780 \text{ m}^3$ .

## 9.3 Roční produkce emisí

Je uveden pouze jeden příkladový výpočet pro roční emise.

**Roční emise ze spalování uhlí:**

$$E_{\text{CO},\text{rok}} = M_{\text{CO}} \cdot m_{\text{rok}} \cdot 10^{-9} \text{ [t/rok]} \quad (9.6)$$

$$E_{\text{CO},\text{rok}} = 500 \cdot 436305543,63 \cdot 10^{-9}$$

$$E_{\text{CO},\text{rok}} = 218,15 \text{ t/rok}$$



### Roční emise ze spalování zemního plynu:

$$E_{\text{CO,rok}} = M_{\text{CO}} \cdot V_{\text{rok}} \cdot 10^{-9} \text{ [t/rok]} \quad (9.7)$$

$$E_{\text{CO,rok}} = 270 \cdot 58371780 \cdot 10^{-9}$$

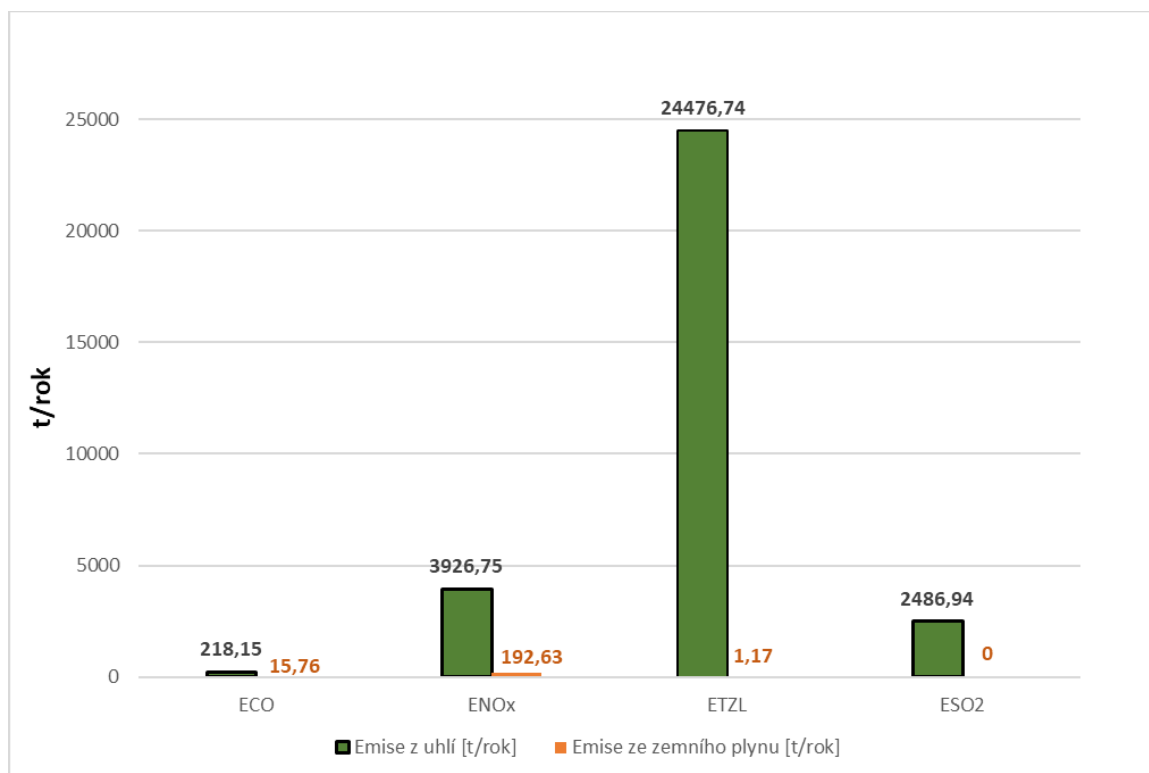
$$E_{\text{CO,rok}} = 15,76 \text{ t/rok}$$

**Tabulka 9.3 Vypočtené hodnoty ročních emisí**

| Emise | Emise z uhlí<br>[t/rok] | Emise ze<br>zemního<br>plynu [t/rok] |
|-------|-------------------------|--------------------------------------|
| ECO   | 218,15                  | 15,76                                |
| ENOx  | 3926,75                 | 192,63                               |
| ETZL  | 24476,74                | 1,17                                 |
| ESO2  | 2486,94                 | 0                                    |

Porovnání celkové roční produkce emisí z uhelných a plynových zdrojů lze vidět v následujícím grafu. Spalování černého uhlí je zatíženo většími emisemi, přičemž je nutno podotknout, že při výpočtu je uvažováno s celoročním provozem kotlů. Je tedy jasné, že výsledky by se mohly snížit v řádech desítek procent. Také je nutné připomenout, že současný stav teplárny Vítkovice v podobě plynových kotlů a kogeneračních jednotek má menší tepelný výkon, než tomu bylo před ekologizací. U těchto výpočtů se dále neuvažují žádné technologické postupy pro snížení emisí jako je denitrifikace spalin, odsíření, či zachycování popílku elektrostatickými odlučovači.

**Graf 9.3 Porovnání roční produkce emisí**



## 9.4 Ekonomické porovnání emisí

Jako motivující nástroj pro snižování emisí slouží emisní obchodování. Subjekty, které dokáží redukovat emise s nižšími náklady mohou uspořené emisní povolenky prodat těm, u nichž by taková redukce mohla být ekonomicky nákladnější. Obchodovat mezi sebou mohou státy v rámci flexibilního mechanismu Mezinárodní emisní obchodování. Tržní cena emisní povolenky je pohyblivá z důvodu obchodování na burze. V současnosti je hodnota 25,42 EUR na tunu emisí. [31-32]

Je uveden pouze jeden výpočet ročních nákladů.

**Náklady na emise CO vzniklého spalováním uhlí:**

$$\text{Náklady}_{\text{ECO}} = E_{\text{CO;rok}} \cdot \text{cena}_{\text{emisní povolenky}} \quad [\text{EUR}] \quad (9.4.1)$$

$$\text{Náklady}_{\text{ECO}} = 218,15 \cdot 25,42$$

$$\text{Náklady}_{\text{ECO}} = 5545,44 \text{ EUR}$$

**Tabulka 9.4 Roční náklady na emisní povolenky spalováním uhlí a zemního plynu**

| Emise | Náklady na emisní povolenky při spalování uhlí [EUR/t] | Náklady na emisní povolenky při spalování zemního plynu [EUR/t] |
|-------|--|---|
| ECO   | 5545,44  | 400,63  |
| ENox  | 99817,98   | 4896,58   |
| ETZL  | 622198,76  | 29,68   |
| ESO2  | 63218,06   | 0   |

Z následující tabulky lze mluvit o obrovských rozdílech v ročních ekonomických nákladech na emisní povolenky. Je nutné podotknout, že se vychází z celoročního využití uhelných kotlů, tudíž hodnoty se mohou měnit v závislosti na koeficientu ročního využití. Dále není nepočítáno s čištěním spalin, přičemž u emisí tuhých znečišťujících látek ze spalování uhlí lze dosáhnout snížení až o 99% při zachycování popílku v elektrostatických odlučovačích, nebo odvodem popílku pod ohništěm. Výsledek by tedy byl v reálné praxi odlišný.

## 10 Závěr

Bakalářské práce se v úvodní části věnuje popisu a rozdělení velkých elektrárenských uhelných kotlů, kde jsou popsány základní principy jednotlivých typů kotlů a dále také rozdělení plynových kotlů a kogeneračních jednotek.

Následně je pozornost upnuta na Teplárnu Vítkovice, kde je shrnut stav před ekologizací teplárny a stav po následné ekologizaci. Zde se práce zabývá popisem konkrétního typu plynové kotle a konkrétního typu kogenerační jednotky.

Hlavní částí práce bylo porovnání vzniku emisí vzniklých spalováním uhlé a plyného paliva. Obecně jsou popsány spalovací reakce, vzniklé emise a spalování tuhých a plyných paliv. Je proveden výpočet množství spalovacího vzduchu, množství vzniklých spalin a množství vzniklých emisí jak u spalování uhlí, tak i u spalování zemního plynu. Porovnáním vzniklých emisí z uhlé a plyného zdroje vychází, že plynový zdroj má mnohonásobně nižší produkci emisí TZL, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> a CO. Díky těmto nižším emisím se ušetří velké náklady na pořizování emisních povolenek. Dále je tímto porovnáním zjištěno, že by byla potřebná výstavba sekundárních opatření v podobě SNCR nebo SCR čištění spalin. Tato investice by byla velice nákladná (přibližně 200 mil. Kč). Díky těmto skutečnostem se přistoupilo k ekologizaci teplárny. Ta proběhla demolicí uhelných kotlů a následnou výstavbou kotlů plynových a kogeneračních jednotek. Výsledným zhodnocením je, že proběhlá ekologizace teplárny Vítkovice je velmi výhodná z hlediska šetrnosti k životnímu prostředí města Ostravy a také z hlediska ekonomického, tedy snížením nákladů na provoz a údržbu teplárny.

## Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval všem, kteří mi při řešení mé bakalářské práce byli nápomocni. Tímto děkuji vedoucímu mé práce doc. Ing. Stanislavu Honusovi, Ph.D., konzultantovi Ing. Pavlu Friedlovi a společnosti ČEZ Energetické služby, s.r.o., člen ČEZ ESCO.

Štěpán Zeman

## 11 Seznam použité literatury

- [1] VILIMEC, Ladislav a Jaroslav KONVIČKA. *Parní kotle I*. 2016-03-21.
- [2] MÍKA, Jiří. *Průmyslová energetika: Text k přednáškám*. 2012. Ostrava.
- [3] POLACH, Vladislav. *Parní kotle* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: [http://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/01\\_Stavba-a-provoz-stroju\\_1-3/1\\_IUT/005\\_Parn-kotle---Polach---P0.pdf](http://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/01_Stavba-a-provoz-stroju_1-3/1_IUT/005_Parn-kotle---Polach---P0.pdf)
- [4] ČERNÝ, Václav. *Parní kotle a spalovací zařízení*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1975.
- [5] KADRNOŽKA, Jaroslav a Ladislav OCHRANA. *Teplárenství*. Prosinec 2001. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-7204-222-x.
- [6] BALÁŠ, Marek, Martin LISÝ a Jiří MOSKALÍK. *Kotle – 2. část* [online]. 2.4.2012 [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/8438-kotle-2-cast>
- [7] SCHREIBEROVÁ, Lenka a Lubomír NEUŽIL. *Fluidace* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://vscht.cz/uchi/ped/chi/chi.ii.ulohy.k07.fluidace.pdf>
- [8] SVOBODA, Alexandr. *Plynárenská příručka: 150 let plynárenství v Čechách a na Moravě*. Praha: Gas, 1997. ISBN 80-902339-6-1.
- [9] *Informační portál časopisu All for Power* [online]. Copyright © Fw [cit. 13.05.2019]. Dostupné z: [http://www.allforpower.cz/UserFiles/file/bosch\(1\).pdf](http://www.allforpower.cz/UserFiles/file/bosch(1).pdf)
- [10] *Kogenerační jednotky*. Ostrava, 2004. VŠB - TU Ostrava. Vedoucí práce Ing. Ctirad Koudelka.
- [11] KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. *Malé kogenerační jednotky v komunální a průmyslové energetice*. Brno: PC-DIR Real, 1999. ISBN 80-85895-23-4.
- [12] Typy kogeneračních zařízení a jejich použití | Dotace EU. *Dotace EU | Dotace z EU na klíč* [online]. Copyright © 2019 [cit. 13.05.2019]. Dostupné z: <https://www.dotacni.info/typy-kogeneracnich-zarizeni-a-jejich-pouziti/>
- [13] IBLER, Zdeněk. *Technický průvodce energetika*. Praha: BEN - technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-026-1.

- [14] Horkovodní kotle UT-HZ. [online]. Copyright © 2019 Bosch Industriekessel GmbH [cit. 13.05.2019]. Dostupné z: <https://www.bosch-industrial.com/cz/stranka-produkty/horkovodny-kotle/uthz.html>
- [15] *Efektivní technika pro velké úkoly – Teplovodní a horkovodní kotle* [online]. In: . [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: [https://www.bosch-industrial.com/files/mng/BR\\_HotWaterBoilers\\_cz.pdf](https://www.bosch-industrial.com/files/mng/BR_HotWaterBoilers_cz.pdf)
- [16] KOGENERACE Kombinovaná výroba elektřiny a tepla. In: *Tedom* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://www.tedom.com/wp-content/uploads/2017/12/Bro%C5%BEura-Kogenerace-po-str%C3%A1nk%C3%A1ch.pdf>
- [17] *Technická zpráva DPS1.1: 030/18-6P11-1*. 2018.
- [18] *Technická zpráva PS1: 217a/16-7P1-1*. 2017.
- [19] Vítkovice | Uhelne elektrárny | Skupina ČEZ. [online]. Copyright © 2019, ČEZ, [cit. 16.05.2019]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/uhelne-elektrarny/cr/vitkovice.html>
- [20] *Místní provozní předpis: Kotel č. 9, EVIO 2 004*. ČEZ.
- [21] *Místní provozní předpis: Kotel č. 10, EVIO 2 003*. ČEZ.
- [22] *Místní provozní předpis: Kotel č. 11, EVIO 2 005*. ČEZ.
- [23] *Technicko-ekonomická studie: Nový zdroj tepla pro Vítkovice - kotelna*. 28.2.2016.
- [24] *Energetické výzkumné centrum* [online]. Copyright ©04 [cit. 16.05.2019]. Dostupné z: <http://vec.vsb.cz/katalog-obrazku/clanek-115/194-spalovani-tuhych-paliv-1.pdf>
- [25] IBLER, Zdeněk. *Technický průvodce energetika*. Praha: BEN - technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-026-1.
- [26] *Energetické výzkumné centrum* [online]. Copyright ©9 [cit. 16.05.2019]. Dostupné z: <http://vec.vsb.cz/katalog-obrazku/clanek-115/193-zaklady-spalovani-2011-3-1.pdf>
- [27] NOSKIEVIČ, Pavel. *Spalování uhlí*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1993. ISBN 80-7078-197-1.

- [28] RYBÍN, Miroslav. *Spalování paliv a hořlavých odpadů v ohništích průmyslových kotlů*. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1985.
- [29] FÍK, Josef. Složení zemních plynů. *Tzbinfo* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/89-slozeni-zemnich-plynu>
- [30] HEMERKA, Jiří a František HRDLIČKA. Emise z kotelen a ochrana ovzduší (III). *Tzbinfo* [online]. 3.1.2005 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/2309-emise-z-kotelen-a-ochrana-ovzdusi-iii>
- [31] European Emission Allowances (EUA). *302 Found* [online]. Copyright © 2017 European Energy Exchange AG [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: <https://www.eex.com/en/market-data/environmental-markets/spot-market/european-emission-allowances#!/2019/05/20>
- [32] Emisní obchodování - Ministerstvo životního prostředí. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Copyright © 2008 [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/emisni\\_obchodovani](https://www.mzp.cz/cz/emisni_obchodovani)



# Seznam tabulek, grafů a obrázků

## Seznam tabulek

|   |    |
|---|----|
| Tabulka 5.1.1 Emisní limity platné od 1. července 2020 [23] .....                   | 26 |
| Tabulka 5.1.2 Skutečné hodnoty pro kotel K9 [23] .....                              | 27 |
| Tabulka 5.1.3 Skutečné hodnoty pro kotel K10 [23] .....                             | 27 |
| Tabulka 5.1.4 Skutečné hodnoty pro kotel K11 [23] .....                             | 27 |
| Tabulka 5.2 Molekulové hmotnosti prvků v hořlavině [28] .....                       | 35 |
| Tabulka 8.4.1 Složení černého uhlí spalovaného v Teplárně Vítkovice.....            | 37 |
| Tabulka 8.4.2 Emisní faktory při spalování tuhých paliv [30].....                   | 39 |
| Tabulka 5.4 Složení zemního plynu [29] .....  | 42 |
| Tabulka 8.6.1 Emisní faktory při spalování kapalných paliv [30].....                | 45 |
| Tabulka 9.1 Výpočet celkového příkonu v palivu [20-23] .....                        | 47 |
| Tabulka 9.3 Vypočtené hodnoty ročních emisí .....                                   | 49 |
| Tabulka 9.4 Roční náklady na emisní povolenky spalováním uhlí a zemního plynu ..... | 51 |

## Seznam grafů

|   |    |
|---|----|
| Graf 9.3 Porovnání roční produkce emisí ..... | 50 |
|---|----|

## Seznam obrázků

|   |    |
|---|----|
| Obrázek 2.4 Schéma roštového ohniště [6] .....          | 16 |
| Obrázek 4.1.1 UNIMAT Horkovodní kotel UT-HZ [14] .....  | 28 |
| Obrázek 4.1.2 Schéma plynového kotle [15] .....         | 29 |
| Obrázek 5.1 Kogenerační jednotka TEDOM Quanto [16]..... | 31 |